第8卷 第1期 昆虫学报 Vol. VIII, No. 1
1958年1月 ACTA ENTOMOLOGICA SINICA January, 1958

东亚飞蝗(*Locusta migratoria manilensis* Meyen)在中国的發生动态

馬 世 駿

(中国科学院昆虫研究所)

东亚飞蝗系相当典型的草原型昆虫，它具有草原型昆虫的生活特征，如对温湿度有較大的适应范圍，喜光，运动器官發达，能作远距离迁移，有群集習性等。主要分布于中国东部农業区边緣的草原地带，故易于造成农業大灾害，为中国历代著名大害虫之一。

东亚飞蝗在中国所造成的灾害，自紀元前707年即有記載，陈家祥[13]曹驥[23]都曾就历代資料加以整理，而对于發生实况的記載，則自張景欧[26]始，其后則有吳福禎[7-10]，鄒鍾琳[29]，道家信道[56]諸氏，惜受当时社会条件所限，此項資料皆限于局部地区。

本項工作开始于1952年，五年来曾先后在洪澤湖、微山湖、黄海沿岸等蝗区进行常年的系統观察工作，并到全国各重点蝗区实地了解历年發生动态，本文即根据近五年(1952—1956)来在上述地区所进行的試驗和調查結果，联系过去历代資料，試圖对东亚飞蝗發生动态加以分析。

在进行野外工作时，承陈永林、尤其儆、張福海、赵建銘諸同志协助，在整理历代文献时曾蒙吳福禎、陈家祥、邱式邦、郭尔溥几位先生供給許多宝貴資料，均在此致謝。

一、發 生 时 期

东亚飞蝗無眞正滞育或休眠現象，發生时期主要决定于环境条件，特别是气候，当热、水、光、气等因素适宜时，东亚飞蝗可繼續生长并完成其發育。因此，在某一地区如該年發生时期早，就可能大部完成發育乃至增多一代；反之，如發生时間迟就可能完成不了整个發育甚至少發生一代，故發生时期在数量消长上有其意义。

东亚飞蝗在全国各地皆系以卵在土內越冬，胚胎起点發育温度 (Threshold temperature)根据室內試驗确定为15°C，但在15°C恒温下胚胎可完成發育而蝗卵孵化温度最低則为16°C，若以$yt=1/K$相关綫(圖1)求其起点發育温度，則在17°C左右，而孵化起点温度近于18°C，此与在野外变温下所得的結果極相近。蝗卵完成胚胎發育所需有效温积在無其他条件干扰的情况下，恒温25°C、30°C两种温度內为210日度，在20°C恒温內絕对大多数接近于210日度，个別則少于210日度，恒温35°C、40°C下的發育温积大多超过210日度，并自32°C起始温度愈高其超出210温积数愈多。在自然情况下，温度的作用常受土壤內含水量、含盐量与土壤物理結构影响，所需温积大多数都較210日度多，如圖2所示，圖內直綫为根据室內恒温下試驗結果所划出的發育温积綫，从圖上可看出除个別情况，大多数在自然情况下所經历温积，無論温度高低都較210日度为多，并以黄海蝗

区所超过的温积数最大，而且最不集中，在土壤理化性变化較小的地区，如所选定的北京試驗区，蝗卵有效温积变化幅度則集中在220—240日度間，部分蝗卵温积延长到265日度，最少則仅有205日度，相差为60日度，若以北京6、7、8月5—10厘米土壤温度变化幅度26—30°C来計算，60日度相当于4—5.5天的有效温度，这說明在同一小环境內同日产生的蝗卵孵化期可能有4—5天的差异。

蝗卵在不同含水量土壤內完成發育所需要的温积不同，有随含水量升高而也增多的趋向，下面系1953年在洪澤湖蝗区观测所得結果：

温度幅度	土壤含水量(%)	温积(日度)
26—32°C	12—16	224(±14.11)
26—32°C	18—22	272(±13.92)
26—32°C	24—28	321(±14.51)

从这个結果中，可看出在近似温度下，較干的土壤內蝗卵發育較快。蝗卵發育速度与温度关系，照理論上来講，其温度愈高發育速度愈大，如圖1所示；但温度与时間的这种直綫相关，只限于中位温度（26—32°C）范圍之內，超过32°C則發育速度較理論發育速度为慢，低于28°C則有可能加速發育的趋势；同样情况如土壤內的水、盐含量等其他生态条件也影响着發育速度的大小，例如圖1中所示黄海蝗区的蝗卵發育速度，就显然較其他地区为小。

若以發育温度和完成發育所需时間而論，从圖3也可看出两者的关系仅限于温度26—32°C幅度內，在同一温度范圍完成同期發育則可能有4—10天的差异。再就胚胎發育綫和孵化綫两者距离来比較，可看出在高温下距离很小，如在30°C时，两者相差約1.0日，在36°C时，两者几合而为一，相差只0.5天；但在24°C时，相差达2.9天；20°C时相差可达10天；18°C时相差可达35天。这說明在高温度下，蝗卵胚胎完成發育后即可孵化；在低温下胚胎虽已完成發育，尙須积累若干温度后方可孵化，因此在过低温度下，蝗卵胚胎虽可完成發育，但不一定能孵化。

影响蝗卵發育与孵化的生态因素除温度外，尙有土壤的其他物理性和化学性。蝗卵在發育期中，需要从土壤中吸收水分，其吸水量在胚动前期約占原体重25%，胚胎發育完畢接近孵化时，則达到30%[24]，故以在胚动前期吸水量最多。因此土壤內水分变化将直接影响到蝗卵發育速度或其孵化时期。据試驗蝗卵所需要的最适宜土壤水分，視土壤物理結构而异。土壤顆粒愈小的其保水力愈强，蝗卵可能利用的水量比例愈小，所以蝗卵在粘土中所需含水量較壤土为高，較沙土更高，两者相差可达二倍以上，亦即沙土含水量虽仅有粘土二分之一，但对于蝗卵可發生同样的功效。据試驗以华北蝗区最常見的冲积土（沙質壤土）为例：在土壤含水量8—22%范圍內，無論在何种温度下（20—35°C），蝗卵都可發育和孵化，但以含水量8—16%范圍內孵化率最高，孵化整齐度亦最大，孵化时間前后相差最大为4天。含水量18—22%在温度35°C以下的孵化整齐度亦大，但孵化率較低，而孵化盛期則亦較低含水量的迟1—2天；含水量18—22%而温度高于35°C，則孵化率和孵化整齐度都差，孵化时間前后相差可达7天；含水量高于26%时，則不管在何种温度下孵化率都很低，且孵化时間亦極不整齐，如含水量超过30%，在絕大多数情况下都不能發育。

在沿海一带蝗区土壤内，含有 NaCl、Na_2SO_4、$CaHCO_3$ 等物質，其中以 NaCl 占比例最大，土壤中可能利用的水量，即受此盐分大小的影响，含盐量高的，其絕对含水量虽高，但由于土壤內溶液濃度大，蝗卵可能利用的相对水量則不高，因此同样含水量，在其他地区适合，在沿海一带則感到稍低。

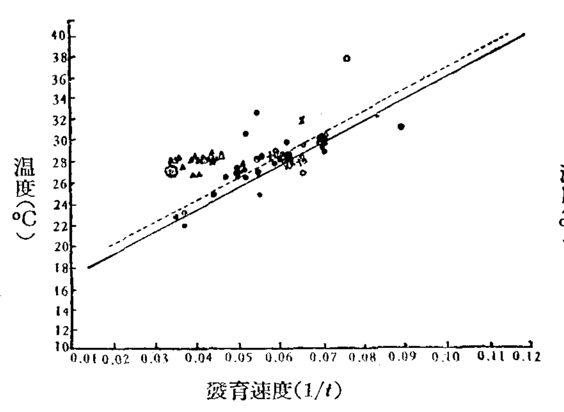


圖1　东亚飞蝗夏蝗卵發育速度与土壤温度

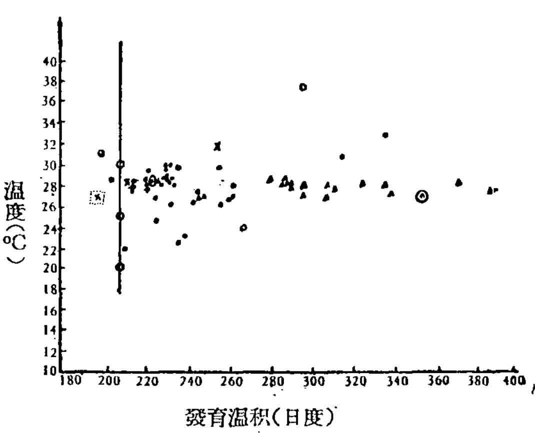


圖2　东亚飞蝗夏蝗卵在不同情况下的發育温积

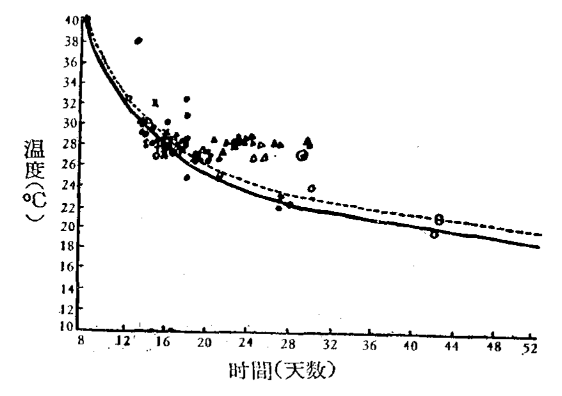


圖3　东亚飞蝗夏蝗卵發育时間与土壤温度

圖1—3圖例

┈┈＝温度与时間的孵化綫
——＝温度与时間的發育綫
○＝恒温
●＝北京郊区(1953、55年)
⊙＝北京郊区(1954年)
×＝洪澤湖蝗区(1953年)
＋＝微山湖蝗区(1954年)
△＝黃海蝗区(1955年)
每个符号代表一次試驗(包括五个重复)

当蝗卵完成其胎动前期吸水后，土壤內水分变动对于蝗卵仍有显著作用。当土壤含水量降低至2%时，在20—35°C范圍內，仍可孵化，但孵化率甚低，而孵化整齐度亦甚小，尤其在低温下最为显著，如在20°C下的孵化时間前后相差可达9—14天；当土壤含水量由低上升至4%—20%，在20°—35°C范圍內均近于正常，就中則以16—18%孵化率最高；当含水量上升至22%孵化率即显著降低，26%者仅有个别孵化，30%者未孵化。孵化整齐度則以愈近高温愈大，而胚胎發育速度或其孵化期則在土壤含水量12%以下的孵化早，含水量在16%以上的孵化迟，两者孵化盛期相差达5—6天。在40°C高温下，無論土壤含水量多少，均不能孵化。

已吸水的蝗卵在極端干燥情况下可失去水分，蝗卵所能忍受失水量大小視發育期而异，如胚胎發育初期(相当30°C內發育第三天)失水10%后，仍可有66%孵化率，失水在30%以上則不能孵化。在胚胎浆膜表皮形成后(相当30°C恒温下第六天)失水10%对孵

化率無影响，失水在30%以上則孵化率降低80%；如蝗卵發育至胚动期后或胚胎完全發育后失水10%对孵化無影响，失水30%以上的即超过其原吸水量，則其孵化率将降低70—50%；失水如超过50%，則無論何种發育期都不能孵化。失水后的蝗卵孵化整齐度，有显然降低趋势，最长相差可达61日。

土壤含盐量除了通过对土壤溶液的作用而影响蝗卵水分外，盐分对蝗卵發育的直接作用，目前研究結果尙不足以作出結論。据在黄海蝗区观察不同植物群落下和經过不同耕作处理的土壤內，蝗卵發育情况显示出凡發育在含盐量最低土壤內的蝗卵發育最快，其所积累的温积亦少；含盐量最高的發育最慢，其所积累的温积則最多；而且含盐量少的土壤其含水量也低，但含水量与含盐量間幷無显著相关的規律可寻。蝗卵所能忍受含盐量的大小，也視蝗卵胚胎發育期而异，据室內試驗，产在0.4%含盐量(NaCl)土壤內的蝗卵不能孵化，但吸水后的蝗卵，即使轉移到3%含盐量土內仍有个別孵化。在蝗区自然情况下，土壤含盐量时有变动[22]。据1955—1956年黄海蝗区試驗[22]强迫蝗虫产卵在含盐量0.4—0.8%范圍內的土壤，全部蝗卵可正常孵化，产在含盐量高达1%土壤內仍有90%孵化，但在自然状况下飞蝗蝗卵大多分布在含盐量0.08—0.6%范圍內的地区，低于0.2%的地区大多被开垦，高于0.8%的地区，則生长盐蒿（*Suaeda ussuriensis* Iljin）等非飞蝗食料植物，很少在盐蒿地区發現有飞蝗活动及飞蝗产卵。試驗也証明东亚飞蝗产卵对土壤有一定的选擇性[3]。

蝗卵孵化期可能因在某一时期遭受短期淹水而延迟，淹水后的蝗卵在水中仍可进行胚胎發育，但速度較慢，一般在水中2—5天，相当于相同温度的正常情况下1天。淹水时环境对蝗卵的不利影响，在退水后蝗卵恢复到适宜环境状态时，仍維持若干天（視所历的温度情况而异），因此造成淹水后蝗卵的延迟孵化，淹水后蝗卵的孵化期常前后不一致，有陆續孵化的現象，極端的例子，前后可拉长至92—100天[17]。

从以上討論可看出，蝗卵孵化期在高温32—38°C范圍內，無論在蝗区自然状态或室內恒温情况下，發育比較迅速，孵化时間早，但其死亡率則較大，在較低温度20—24°C內，所需要的絕对温积有較在高温下减少的現象，但發育慢，孵化迟，致使整个繁殖速率因而减低，故东亚飞蝗蝗卵适宜發育温度介于26—32°C間。在討論温度对于蝗卵發育关系时，必須指出目前各地气象观測站所提供的資料，包括候平均、旬平均和日平均，均系平均数，但实际上此种平均数值只能代表該段时間內热的总情况或其平均强度，而不能說明热的动态或强度变化过程以及有效热量的絕对値，此种情况特别出現在日夜温差較大地区和一般地区的季节交换时期，此类例子很多，如黄海蝗区1955年5月小蘆葦植物群落5厘米深土壤温度月平均为21.04°C，各候平均温度順序为17.7°C、19.54°C、21.02°C、21.78°C、21.98°C、21.65°C，若就各日温度分析，实际上全月內約有1/6时間高于28°C，若拿該月13日立夏节后7日的土壤温度变化情况来看更为显明，該日平均温度为22.5°C，最低13.8°C，最高32°C，一天內高于28°C的时間約占1/4，高于24°C的时間約占1/2，低于日平均温度22.5°C的时間也約占1/2；故从日平均温度来看該日温积系为22.5°C的热能范圍，而实际上有近1/4的时間則在28°C热能强度的范圍內，这样，蝗卵的發育不全是22.5°C的速度，而有1/4的时間是28°C內的速度。又如1956年微山湖蝗区4月5日（清明节）5厘米深土温日平均为13.78°C，最低温度为9.7°C，最高温度为18.4°C，全日在15°C以上的时間占

6 小时，即 $^1/_4$，若以日平均温度来衡量，該日温度在有效温度以下，而实际上则有 12.7 个有效时度即 0.5 个日度强。再則試驗証明蝗卵在低于 16°C 以下的低温时間，虽不繼續發育，但也不減少已完成的發育，所以实际上蝗卵發育所积累的热能超过依据日平均温度所計算的热能；另一方面在变温情况下，若温度下降的幅度仍在起点發育温度以上，則蝗卵發育速度常較单純在某一种温度內稍大。因此，自然环境內蝗卵完成發育所經历的温积，常較以日平均温度所計算的为大，而發育速度亦較在构成相同温积的恒温下为快，所以在蝗区內常常看到春秋季蝗卵孵化期較根据温积所計算的日期早。

小地形差异可使蝗卵孵化期有显著迟早不同，例如江苏灌云县棉場乡与西趣乡东西相距只 10 公里，但历年来棉場乡蝗虫孵化期較西趣乡同样植被环境的早 5—7 天，造成这种差异的因素为土壤含水量，两地高度相差虽不及 1 米，但地下水位对于表土浸漬作用，棉場乡蝗区远較西趣乡为小，因之前者土壤空隙度远較后者为好，致使春季土温上升亦較后者迅速。此外，同一小地区由于植被不同，地温也有显著差异，如圖 6 所示，小蘆葦和獐毛草为相邻近的两个植物群落，但前者出現的最高温度較后者低 8°C，全日的有效温积則差 65 时度，即等于 2.7 日度，若以上午 10 时至下午 5 时間的高温計算，則相差 38.4 时度，其作用相当于 5.5 日度，这説明同一小地区孵化期前后相差不整齐的一种原因。

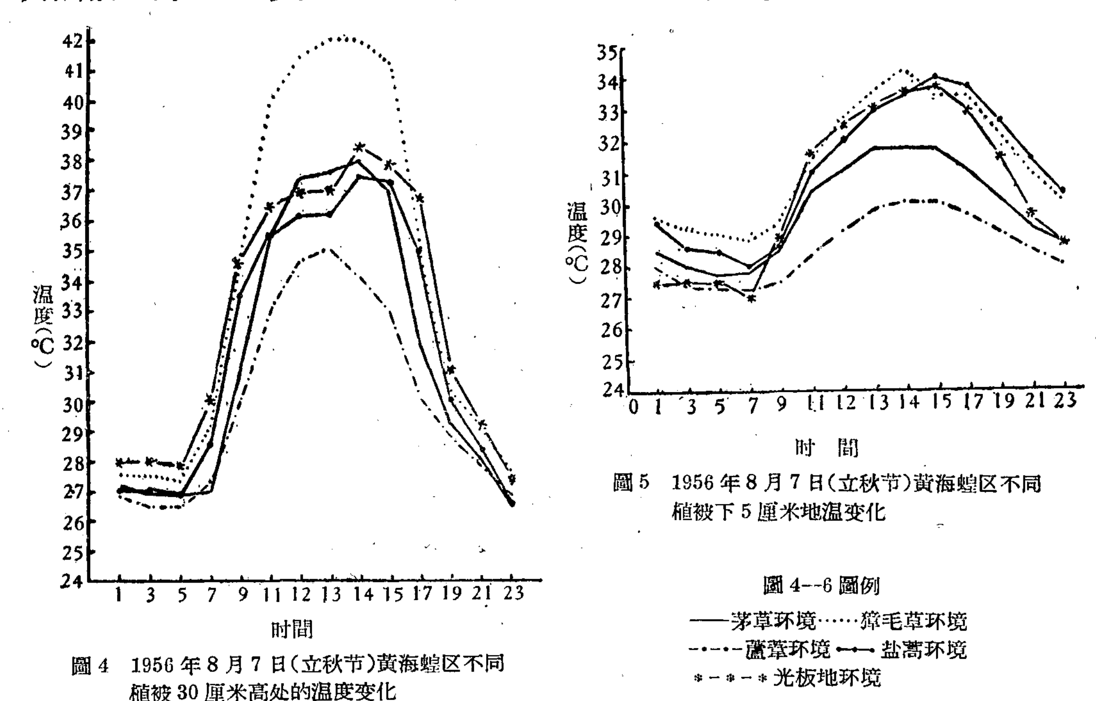


圖 4　1956 年 8 月 7 日(立秋节)黃海蝗区不同植被 30 厘米高处的温度变化

圖 5　1956 年 8 月 7 日(立秋节)黃海蝗区不同植被下 5 厘米地温变化

造成孵化期不整齐的另一因素为产卵期的时間距离，每头雌虫一生平均产卵 4—6 塊，最多可达 10—12 塊，每产一塊的間隔时間，随温度高低而有变化，夏季 4—6 天，秋季 6—9 天；最少只有 3 天，最多可延至 16 天，即以每头雌虫产卵 6 塊，每塊間隔 4—6 天計算，則同一雌虫所产第 1 和第 6 个卵塊，前后相差达 24—36 天，所以在每年發生两代的地区，后期夏蝗成虫能与早期秋蝗成虫同时存在。若遇該年秋季温度高，則此早期秋蝗所产第一批卵，并可孵化，即有第三代發生。例如 1953 年，洪澤湖、微山湖、黃海、渤海等蝗区

情况。因此在这类地区，从第一代成虫产卵末期开始，直到冬初低温停止其活动时，其間都可看到成虫和蝗蝻同时存在的现象。

根据近五年来在各地区檢查結果，証明越冬蝗卵的胚胎發育期，多数是胚胎轉旋以前阶段，但轉旋已完成的和未發育的亦有[24]，此种情况，固然与产卵期有关，而小环境条件主要系热与水的影响也很大。例如后期秋蝗产在高地的蝗卵，当进入越冬期时，其胚胎發育期，可較早期秋蝗产在洼地的蝗卵發育快，越冬后蝗卵开始發育期迟早和快慢，主要决定

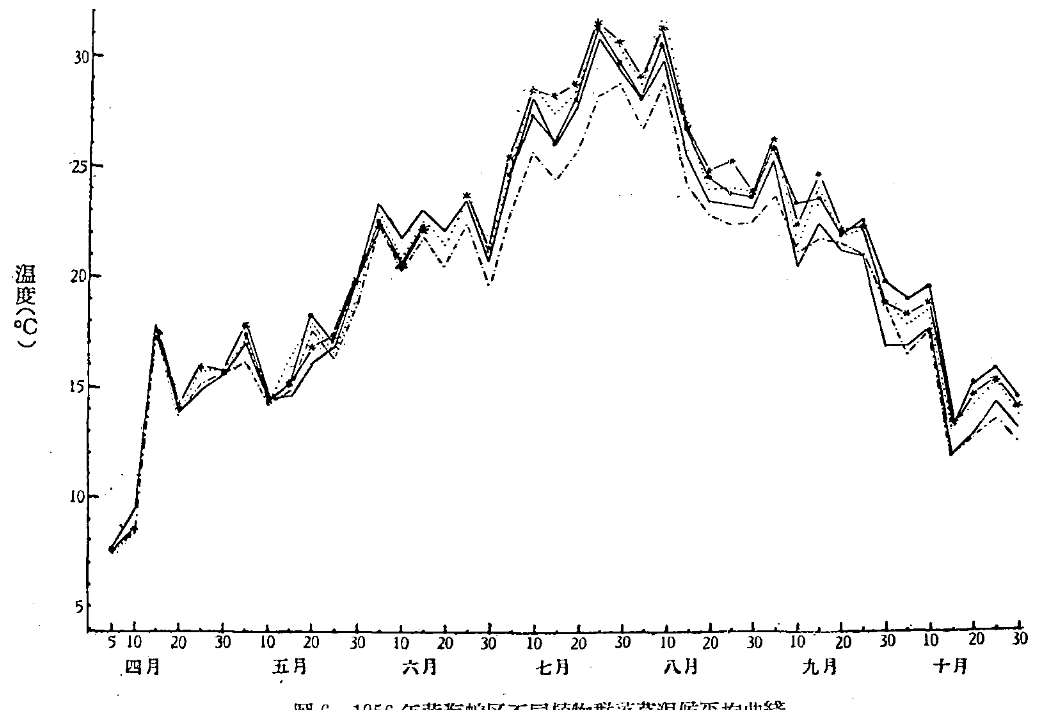


圖 6　1956 年黄海蝗区不同植物群落草温候平均曲綫

于温度，其次为水份，所以同一地区，各年的孵化期，則随当年的气候情况而有变化。在一般年份，越冬后蝗卵开始發育时間为南方早北方迟，南渡江流域約在 2 月下旬，珠江流域約在 3 月上旬，长江流域約在 3 月中下旬，淮河流域在 3 月下旬，黄河流域在河南境內的时間近于淮河流域，在山东北部約为 4 月上旬，海河流域則延至 4 月中旬。表 1 为东亚飞蝗在各地發生期（此表系作者根据历年来在各地調查与观察的結果并彙集一部份前人資料而成）。

二、發生代数

东亚飞蝗發生代数的多少，决定于卵、蝻与成虫的生长速度，而影响生长速度的环境条件，在食物不缺乏的情况下，主要为气候，特别是温度，而光与气压在正常变化幅度內影响都不显著。

蝻与成虫起点發育温度較蝗卵为高，而且有随齡期加大而增高的现象，据室內試驗，蝗蝻起点發育温度为 18°C，但正常發育則开始于 20°C，成虫进行正常生殖則須有一段时期（約三分之一）經过 25°C。最高發育临界温度为 45°C，但在高达 42°C 时即呈现呆滞状

表 1　东亚飞蝗在各地發生期

流域	地点	發生代数	第一代 孵化期	第一代 羽化期	第二代 孵化期	第二代 羽化期	第三代 孵化期	第三代 羽化期	第四代 孵化期	第四代 羽化期	第五代 孵化期	第五代 羽化期
海河	北京	2⁻	5 中下	7 上	8 中	9 下						
	静海	2	5 中下	6 下—7 上	7 下—8 上	8 下—9 中						
	黄华	2	5 中	6 下—7 上	7 下—8 上	8 下—9 中						
黄河	聊城	2	5 上	6 上中	7 上中	8 中下						
	惠民	2	5 中	6 下—7 上	7 下—8 上	8 下—9 上						
	微山湖	2	5 中	6 中	7 下	8 中下	9 中*	10 下*				
淮河	溜云(黄海)	2										
	洪澤湖	2+	5 上中	6 上中	7 中	8 中下	9 上中*	10中下*				
长江	南京	2+	4 下—5 上	6 上中	7 上中	8 上中	—	—				
	杭州	2+	4 下—5 上	6 上中	7 上	8 上中	—	—				
	台灣	3	4 中下	6 上	7 上	8 上中	9 上中	10 中下				
珠江	柳州	3	4 中下	5 下—6 上	6 下—7 上	8 上中	9 上中	10 中下				
	貴县	3	3 下	5 上中	6 上中	7 中下	8 中下	9 下—10 上	11 上*			
	湛江	4	2 中下	4 上中	5 上	6 中	7 中	8 下—9 上	10 上中	10下—11中下		
南渡江	定安	4	2 中下	4 上中	5 上	6 中	7 上中	8 中下	9 中下	10 下—11 上	12 上中*	
	乐会	4	2 中下	4 上中	5 上	6 中	7 上中	8 中下	9 中下	10 下—11 上	12 上中*	

* 仅在干旱年出現

态，且生殖亦降低。故东亚飞蝗可能發育温度范圍为 20—42°C，其适宜發育温度在 25°C—40°C 間，最适温范圍則为 28°C—34°C。圖 7 为东亚飞蝗在不同温度下的生长速度比較，从圖上可看出，在高温下生长速度快，所需时間短，在低温下生长慢所需时間則长，但值得注意的即其所需要的时間縱使在适宜發育温界內亦不呈現比例的增加与减少。再如

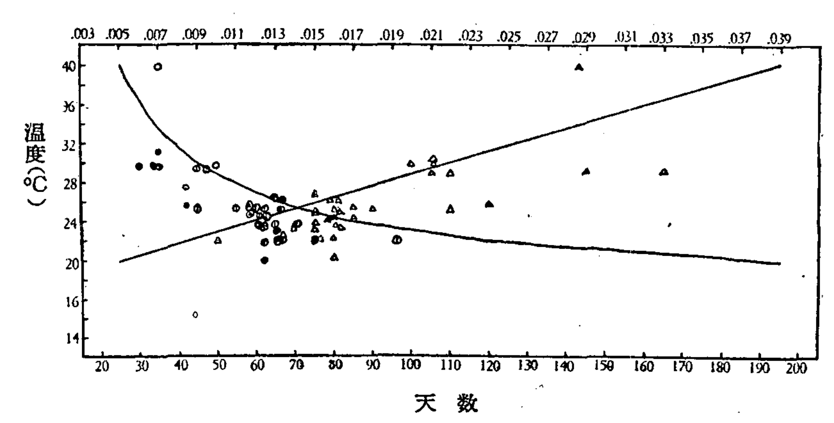


圖 7 东亚飞蝗在不同温度下的發育速度

在高温下的实际發育速度常較理論上的为慢，而在最适温界的下界或較低适温界內則常比較理論时間为快。此种情况特别出現在自然界的变温情况下，圖 7 中各种符号系代表黄海、洪澤湖、北京郊区的飞蝗發育速度-时間的部位，若就各該地区平均温度来計算，絕大部分發育速度都較理論發育速度为大，即都較理論發育时間为短。

东亚飞蝗由蝻發育至成虫所經历的温积，系随温度高低而异，如下表所示：

温度类別	恒		温		变		温	
温幅(°C)	25±0.25	30±0.25	35±0.25	40±0.25	28—34	26—32	22—28	18—25
温积(日度)	405.3	361.8	356.48	394.9	304—372	364—468	405—540	375—480

即在恒温范圍內 35°C 所积累的温积最小，高于或低于 35°C 都較 35°C 温积高，在变温条件下，以 28—34°C 温幅內蝗虫所积累的温积最小，其次則为 18—25°C 的低温幅內，但必須說明在此 4 种变温幅內以 18—25°C 温幅的蝗虫生长速度最低，故其温积小，非發育快而系由于温度低所致。

飞蝗由 I 龄蝻發育至成虫所經历的时間在恒温 25°C 为 41.2 天，在 30°C 为 28.42 天，在 35°C 为 20.12 天，在 40°C 为 17.6 天，由羽化到产卵盛期所历时間在 4 种温度中相差不多，均在 14 天左右。

表 2 系在野外自然情况下飼养的結果，同一地区由孵化至成虫性成熟期各年所需时間长短不同，以蝗虫大發生頻繁的黄淮平原为例，最短的如 1953 年洪澤湖秋蝗只要35天，最长的則为 1954 年微山湖秋蝗須 67 天。从表 2 中也可看出在干旱年如 1953、1955 所历时間較 1954 年多雨年为短。干旱年完成一代（包括卵，蝻，成虫 3 个虫期）最少要 55 天，一般年份需 70—80 天，陰雨較多年份，則需 95—120 天。

表2　历年东亚飞蝗在各地自然情况下由孵化至羽化所經过的温度与时間

		北京		洪澤湖		微山湖		黃海	
		夏蝗	秋蝗	夏蝗	秋蝗	夏蝗	秋蝗	夏蝗	秋蝗
1953	温度(°C)			23—27	29.6—30.7				
	时間(天)			42	35	41	39		
1954	温度(°C)	21—25	17—21	22—26	25.6—31.5	22—25	23—27		
	时間(天)	71	120……	63	59	60	67		
1955	温度(°C)	22—27	21—26					20—27	24—28
	时間(天)	62	66	53	45	52	39	63	52
1956	温度(°C)	23—25	15.2—21.6					17.6—28.6	21.7—27.9
	时間(天)	66	75……					52.5	56.4

从以上結果可以清楚的看出，蝗虫完成發育不仅需要一定温幅內的温积，而且需要一定的时間距离，这种情况使高温对于飞蝗發生代数的作用受到限制。

根据上述温度与飞蝗發生关系，参考各地多年来气候資料把各地一年內温度分成4个温度梯度，算出每个温度梯度內温积数，然后按照每一类温积所占的比例，算出总温积所能完成的代数，然后与近年来在各地实地观察所明确的發生代数相比較，結果如表3。

从表3可看出以下情况：(1) 發生可能度在0.5以上者在干热年亦难完成一代，但冬季−10°C低温超过30天以上的地区，即使其可能度远在0.5以上亦不能完成一代，如长春等北緯43度以北的地区；(2)在中緯度(30—40°)地区的全年有效温积虽較低緯度地区为小，但其最高温度出現的期間，在比例上則相对的較低緯度地区为大，致使中緯度地区蝗虫發生的代数相对的較低緯度为高，此种現象特别在夏季最为显明。相反地在高緯度地区，虽其全年有效温积数足以完成一代乃至更多，但由于此有效温积系屬于低温梯度范圍，故其实际完成的代数較有效温积数为低；(3)有效温积的大小与緯度有一定的关系，即随緯度的增高而减少，但並不完全符合，如太原的緯度低于石家庄，但其有效温积反而小；新海連緯度低于荷澤，而其有效温积亦反而低于荷澤，造成此种現象的原因，前者系由于海拔高度的作用，后者則因新海連近海而夏季温度較低所致。

各地蝗虫在發生代数上的变化，随地方气候变化而有不同，在低緯度地区如南岭以南的湛江平原等地，四季温度变幅不大，除1、2月外，其余各月温度都在有效發育温度以上，故各年發生代数比較稳定，在高緯度地区历年温度变化虽較低緯度地区大，但除在特殊干热年外，一般年份內的温度增高幅度則不足以使其完成一代，故温度变化的作用不够显著。在中緯度地区温度变化比較剧烈的季节，为春秋二季，干热春季的早临能促进蝗卵提早孵化或加速幼蝻的生长，秋季高温則可使秋蝗充分完成其产卵。反之，如春秋季节陰冷，則第1代孵化迟、生长亦慢，致使第2代蝗蝻孵化迟，当秋末寒流降临时不能全部羽化或未能充分产卵而死亡。因此，此等地区每年發生代数变化最大，例如1953年在淮河黃河流域地区都有第3代發生，其中約只有10%左右完成第3代，但1954年在同一地区只有50%完成第2代，在其余未完成第2代的比例中，則約有20%完成1代。引起一个地

表 3　东亚飞蝗在各地有效温积及發生代数

緯　度	經　度	地　区	發育有效温积（°C 日度）										全年出現 -10 °C以下的天数	每年可能發生的代数	每年实际發生的代数
			16—18	天数	18.1—24	天数	24.1—28	天数	28.1—32	天数	总温积	天数			
50°15′	127°29′	瑷珲	5.6	5	313.6	82	112	10	0	0	431.2	97	120	0	0
46°25′	130°20′	佳木斯	5.5	12	430.2	82	127	10			562.4	104	90	0.75	0
45°45′	126°38′	哈尔濱	5.5	12	437.9	82	127	10			570.4	104	90	0.75	0
44°35′	129°36′	牡丹江	33.0	21	337.5	67	127	10			490.5	98	90	0.65	0
43°55′	125°18′	长春	8.0	16	470.2	83	129	10			607.2	109	90	0.81	0
43°11′	124°20′	四平	12.5	21	489.4	82	129	10			630.9	113	90	0.86	0
41°47′	123°24′	沈陽	37.5	45	406.7	61	186.9	21	143.0	10	774.1	137	62	1.03	1—0
41°07′	121°07′	錦州	30.0	30	390.0	81	322.3	31	137.0	10	879.3	153	30	1.17	1—0
40°58′	117°50′	承德	31.9	35	311.7	60	380.4	45	174.9	17	898.9	151	35	1.19	1
40°50′	115°11′	張家口	21.0	55	395.4	72	230.0	20			646.4	147	30	0.88	0—1
40°13′	122°11′	熊岳	22.5	18	336.1	75	424.2	42	274	20	1056.8	155	<15	1.49	?
40°05′	113°18′	大同	10.0	20	477.7	87	129	10			616.7	117	35	0.82	0
39°56′	116°20′	北京	5	5	247	61	700.1	72	300	21	1252.1	159	20	1.66	1—2
39°55′	119°38′	秦皇島	6.0	12	225.0	60	558.9	62			789.9	134	20	1.05	1
39°38′	118°12′	唐山	5	5	470.7	91	409.5	42	319	20	1249.2	158	20	1.70	1—2
39°06′	117°10′	天津	5	10	316	61	744.6	72	313	20	1379	163	20	1.91	1—2
38°50′	115°34′	保定	18.5	15	316.9	56	840.8	81	182.6	11	1358.8	163	<15	1.81	1—2
38°26′	116°55′	滄县	42.0	25	314.4	61	578.0	61	492.8	31	1426.8	178	<15	1.94	1—2
38°04′	114°26′	石家庄	3.6	6	326.7	61	798.1	71	367.9	21	1426.3	159	<15	1.90	1—2
37°48′	112°31′	太原	43.0	61	454	61	288	31			885	153	<15	1.2	1
37°30′	117°32′	惠民	6	15	344.7	66	684.6	51	454.1	31	1491.4	163	<15	2.04	2
37°29′	116°22′	德州	15	31	418	61	723	41	415	31	1571.0	160	<15	2.12	2
37°24′	105°38′	中宁	94.8	61	384.5	61	172.2	21	148	10	799.5	153	<15	1.66	1
36°30′	115°57′	聊城	25	15	442.2	66	353.4	31	784.5	61	1605.1	173	<15	2.2	2
36°06′	113°30′	临汾	11.5	14	211.9	61	766.7	72	366	20	1416.1	167	20	1.88	1—2
35°00′	120°00′	荷澤	15.5	31	269.1	36	917.5	91	409.2	31	1611.3	189	<15	2.15	2
34°46′	113°39′	郑州	27.9	31	435.7	77	517.7	50	450.7	31	1432.0		<15	2.0	2

34°36′	105°34′	天水	92	61	548.1	87	66	5			706.1	153	<15	0.94	0—1
34°19′	117°22′	徐州	37.2	31	387.1	66	674	61	515.9	31	1614.2	189	<15	2.15	2
		微山湖											<15		
34°17′	108°04′	武功	2.4	4	259.6	61	799.4	82	164.0	10	1225.4	157	<15	1.63	1—2
34°16′	106°58′	宝鷄	45.6	20	384.6	76	490.5	51	159.6	11	1080.3	158	<15	1.44	1
34°16′	119°10′	新浦	20	30	467.5	75	786.9	81	138.4	12	1412.8	189	<15	2	2
		泗洪											<15		
34°15′	108°55′	西安	2.8	9	171.8	61	607.1	61	437.1	31	1218.8	162	<15	1.62	1—2
33°36′	118°58′	淮陰	46.5	31	396.5	66	291.0	30	764.0	66	1586.0	189	<15	2.17	2
32°56′	117°22′	蚌埠	20	25	261	62	1091.6	86	347	21	1719.6	194	<15	2.29	2
32°24′	119°27′	揚州	30	15	476.1	87	826.5	71	336	21	1678.6	194	<15	2.23	2
32°04′	118°47′	南京	84.2	51	415.4	71	766.6	75	514.6	31	1780.9	189	—*	2.36	2
30°42′	111°05′	宜昌	33	25	350.5	72	552.0	60	884.8	62	1820.3	219	—	2.35	2
30°25′	114°17′	汉口	45.1	31	223.5	62	525	60	951.4	62	1744.5	214	—	2.39	2
30°16′	120°14′	杭州	61.3	36	388.9	66	498	50	632.0	42	1580.2	194	—	2.16	2
29°44′	116°18′	湖口	45	30	425.7	67	558	50	1158.2	72	2186.9	219	—	2.98	2—3
29°24′	113°10′	岳陽	67.9	61	449.8	61	282	30	827.3	62	1632.7	214	—	2.23	2
28°40′	115°54′	南昌	36	15	235.6	62	510	60	911.1	62	1692.7	199	—	2.32	2
28°12′	112°50′	长沙	42	25	304.3	72	546	55	924	62	1816.3	214	—	2.48	2
28°01′	120°38′	温州	73	40	316.2	62	576.2	60	879.9	62	1809.3	224	—	2.47	2
26°56′	112°25′	衡陽	48.8	35	348.9	62	594	60	1015.7	62	2007.4	219	—	2.73	2—3
25°14′	110°14′	桂林	7.5	15	551.4	92	645	60	885.5	62	2089.4	229	—	2.86	3
25°02′	121°31′	台北	73.8	61	513.6	102	913.0	92	902.2	61	2402.6	316	—	3.29	3
24°18′	109°16′	柳州	79.1	61	318.1	61	984.6	91	891.1	62	2272.9	275	—	3.12	3
23°58′	121°37′	花蓮港	77.5	58	727.1	153	1220.3	123	452.5	30	2477.4	354	—	3.39	3
23°32′	119°33′	澎湖	6.2	31	329.9	102	1516.9	154	432.0	30	2285.0	316	—	3.11	3
23°08′	113°15′	广州	42.2	36	369.7	91	1239.0	123	836.4	62	2487.3	312	—	3.47	3
23°04′	109°42′	貴县	31.5	62	484.9	91	985.6	91	828.8	62	2330.8	306	—	3.19	3
22°48′	108°18′	南宁	70.9	56	540.4	91	803.7	73	1127.8	82	2542.8	300	—	3.48	3
21°02′	110°28′	湛江	77.5	49	578.4	113	1449.1	131	673.2	52	2778.2	345	—	3.80	3—4
22°00′	121°45′	恒春	0	0	736.2	121	1986.9	193	731.7	51	3454.8	365	—	4.73	4
20°00′	110°25′	海口	28.3	21	548.1	120	1159.1	111	1165.5	93	2901.6	345	—	3.97	4
19°25′	110°28′	加积	31.1	21	654.3	130	1599.7	151	546.8	43	2831.9	345	—	3.88	4

* 不考虑冬季低温。

区發生代数变动的另一些气候因素，則有降水，降水量在不同季节的分布或降水密度所引起的变异則远較年降水量的大小变化或雨量絕对变率为重要。此外，影响日照时数的云量和空气中的絕对湿度。由于能影响太陽輻射而間接影响到光能与热能的作用。此种变化的重要性亦以春秋季节表現最显著，因为春秋季节的变化有可能使温度升到有效温度以上或降到有效温度以下。这种变化的有效出現时期，在春季由南向北逐漸推迟，例如南岭以南地区为3、4月，长江流域为5月，黄河以北則为6月；在秋季由北向南逐漸推迟，如在海河流域为10月上中旬，在淮河流域为10月中下旬，长江以南地区則为11月。

圖8为1951—1955年北京地区晴雨日数与發生代数变化关系，从圖上看出一年中晴日数如超过全年1/3則能大部完成2代，如低于1/4只能完成1代，如屬于1/4—1/3則約能完成1、2代。

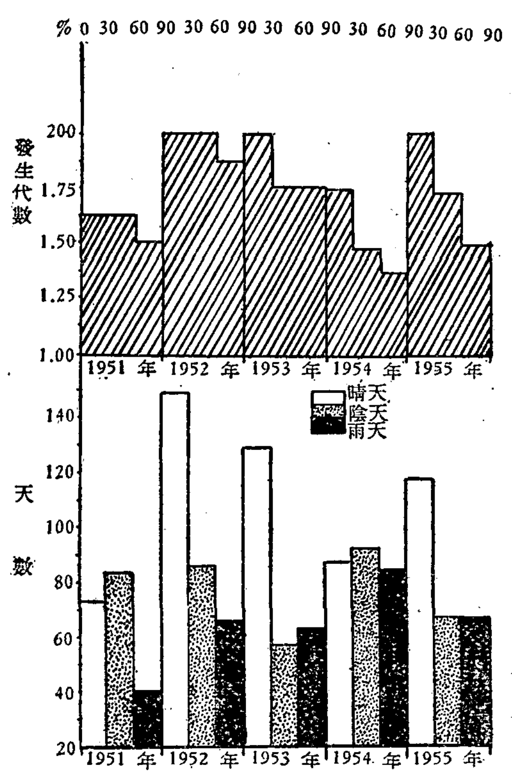


圖8 北京地区1951—1955年天气变化与东亚飞蝗發生代数

关于緯度关系，从表3可以看出北緯39度以南至28度以北的地区基本上都是2代，而37°30′—32°30′間則为正常2代發生区，自此向南則有遞增向北則有遞减。向南至北緯23°进入正常3代地区，近18°則为一年發生4代地区。在海河与长江两大流域間的广大地区內基本上全为一年發生2代的原因，有以下几点：

(1) 低緯度地区春季气候变化較大，陰雨日多，温度变化無定，一般在4月以后方不再出現低于有效温度以下的天气，低緯度地区的冬季或早春平均气温虽远高于高緯度地区，但因仍在东亚飞蝗有效發育温度范圍以下，故此一段期間的温积对于东亚飞蝗作用不大。高緯度地区春季降临的时期虽迟，但由于北方春季多干旱，温度上升迅速，有效温积的积累較南方为快，故黄河流域第1代蝗蝻出現时期通常較长江流域迟15—20日，而成虫出現盛期几近于同时。(2)高緯度地区夏季日照时数多，故蝗虫在高緯度地区所感受的有效高温与光照总量較低緯度地区在时間比例上相差不太大。虽然从日平均温度上来看，由于高緯度地区日夜温差大而所得日平均温度显示不出夏季高温的突出。(3)在低緯度的干燥地区，特别在干旱年(季)常亦出現突出的高温，但当此高温出現时常伴随着过度干燥情况，此种情况的出現有抑制蝗卵發育的影响。(4)地区温度的高低决定于热量的收支，中緯度地区太陽高度高，按常理温度应高，但由于空气乱流及气旋等作用平衡了南北地区的差异，即南方較应得的为低，北方較应得的为高。

經度的意义因受地形影响無显明的規律可寻。如温州与长沙的緯度相近，两地东西相差7°多，而温州海拔高度低于长沙50余米，若照Hopkins定則，則温州年温积应高于长沙，但实际反較长沙为低；杭州与汉口两地的情况亦与上述情况相似。再如荷澤与郑州

东西相差 6°21′，荷澤有效温积就多于郑州，新浦与宝鷄东西相差 12°02′，新浦每年可完成 2 代而宝鷄只能完成 1 代，此不仅經度所引起的差异，而海拔高度的影响亦頗显著。根据以上事实可以进一步說明，由于我国东部近海，夏季沿海一带温度不如內陆高，致显示在海拔 100 米以下的地区愈西其陆性率愈大，所显示的温积亦愈高，与按照經度常規所应表現的温度由西向东而逐渐降低的情形則相反。此外，并由于东亚飞蝗多發生在地势相对低洼地区，小地形特征一般都甚显著，因而更破坏了經緯度所应表現的温差規律。

从圖 4、5、6 亦可看出同一地区由于植被不同所造成的小气候差异，最大温度差可达 8°C。在土壤湿度条件近似的情况下，复盖度疏稀的植被下蝗卵孵化期可較高密植被下的蝗卵早 5—7 天，在湖区高地蝗卵与低地蝗卵孵化期前后可相差 25—37 天。

三、东亚飞蝗的数量变动

(一) 大發生周期性与猖獗期的持續問題

据 Uichanco[59] 研究菲律宾东亚飞蝗的大發生与太陽黑子 11 年的变化周期相符合，即东亚飞蝗在菲律宾的大發生有 11 年周期性。在小泉清明等[38]分析东亚飞蝗侵入台灣与菲律宾飞蝗大發生的关系一文所引用的資料中，也指出菲律宾东亚飞蝗侵入台灣，有 5—9 年周期現象。陈家祥[14]分析中国历代蝗患之記載，得出自公元 960—1935 年的 975 年中有 619 年蝗虫猖獗，其中不連續猖獗年有 63 次，連續猖獗年有 102 次，合計为 165 次，即平均 5.9 年發生一次。陈氏所整理的材料中包括稻蝗、竹蝗和飞蝗，而飞蝗中又包括分布在中国西北部的亚洲飞蝗在內，所以此項資料不能全部用于东亚飞蝗。作者根据近年来对于蝗虫發生或分布地理的研究，把可疑的或已肯定非东亚飞蝗發生的地区全部删去，然后参照陈高傭[15]所整理的历代資料，按照当年所記蝗灾的輕重程度列为 1、2、3、4、5 級，把当时發生的区域亦按照地区的大小范圍列为 1、2、3、4、5 級，两个級数相加，以 10 为大發生頂峰，这样整理后則得圖 9(A) 結果，从圖面上看出有的是連續几年的大發生，有的是間歇式一年一次的發生，而每次大發生相隔年份，短的仅 1、2 年，长的达 15 年以上，似無周期規律可寻，如勉强求一个各次大發生相距的平均年数，則为 8.33。这可能由于我国的幅員广闊，南北蝗区情况相差甚大，而南北發生不全在同一年內，故如把南北發生次数統計在一起，就容易混淆南北蝗区大發生的特征，因而有必要把南北分别进行分析。海河流域的蝗区有些系与黄河流域連系在一起，如渤海灣沿海蝗区，虽在行政区划上屬于河北、山东两省，实际上屬一个自然区；而河南省东部和山东省西南部的情况亦是如此，因此可以将黄河海河两流域的蝗区并在一处。同样情况，淮河流域的蝗区則与长江下游的蝗区有密切关系，如高宝湖的情况，南通与南京、太湖乃至杭州灣的情况等是，不只在地理上相接連，而且江南飞蝗大發生有許多次数系自江北迁来，因此，也有理由把江淮流域合并来分析。若分别把这两个蝗区历年来發生資料按照圖 9(A) 的整理方法加以整理，則得 9(B) 及 9(C) 两圖，从两个圖上可以看出除了圖 9(C) 上的 1077—1098 年及圖 9(B) 上的 1183—1206 和 1227—1260 年期間超过 20 年間隔外，大多数猖獗的間隔时期在 1—15 年，周期性規律仍不显著；但在另外一方面，則可看出南北蝗区的大發生有的系在同一年份，有的則表現此起彼落的交錯現象；若以黄海流域蝗区和江淮流域蝗区比較，則又可看出北部蝗区較南部蝗区發生次数頻繁。这样以南北部来分可能仍感覚所包括的区域太

大，不易看出地区特性，再进一步把海河、黄河、淮河、长江等四个流域的蝗区分别整理統計，在整理时为了避免因古今行政轄区变动所引起的地区誤差，故統一参照近30年的蝗区演变形势，以自然区为单位，結果如下：

蝗区所属流域	海　河	黄　河	淮　河	长　江
1000年内大發生頻度	156	206	236	111
各次大發生平均間隔年数	6.45	4.8	4.2	9.0

从上面分析結果中看出各次大發生間隔年份在各地不同，其中以淮河流域間隔最短，其次为黄河、海河，最长則为长江流域，此种結果若以近几年来对东亚飞蝗生态地理的研究来評斷，已比較合理，但所得仍系平均值。此外并考虑到历代所記載的情况，由于人为的作用，可能与实际發生情况有出入，例如某地区官吏重視蝗灾，可能加重大發生严重情况，相反的有些地区的官吏不重視蝗害，則可能縮小严重程度，为了减少此类輕重差誤，把文献資料仅記載局部有蝗發生而情况不严重的略去，并以淮北坡水地带的河南、安徽两省就地發生的为限，把外地飞来的亦除去，則得出在此1000年中大發生严重成灾有86次的結果。各次發生的間隔年份，以9年出現次数最多計17次，約占20%，6年出現次数次之計13次，以下順序为3年，14年，11年等。为了更进一步明确大發生周期性，把記載比較精确的近50年資料加以分析，則得出下列結果：

(1) 黄淮平原近50年(1907—1956)来飞蝗大發生年份記录

大發生年份		1913			1924	1929	1933			1944		1952	
大發生間隔年数					11	5	4			11		8	
小發生年份	1907		1916	1920				1939	1942		1947		1955
大小發生間隔年数		6	3	4	4			6	3	2	3	5	3

(2) 台灣近50年(1895—1944)来飞蝗大發生年份記录

大發生年	1895—1896	1900	1905	1909—1910	1914—1915	1922—1923	1932—1935	1944—1945
間隔年数		5	5	4—5	4—5	8	9	9

总結上述討論，东亚飞蝗在我国大發生無显明周期現象，但从历年大發生記录中，則可以看出东亚飞蝗大發生时間距离最大間隔为9—11年，最小間隔为4—5年，在两次大發生間如时間距离多于5年，則其間有1—3次小發生，每次小發生时間距离为2—3年，最长为6年，这說明东亚飞蝗大發生时間上的最大最小强度。

(二)大發生与气候

1. 旱涝的影响　飞蝗与旱涝的关系，早在距今1000多年前，唐朝关于蝗灾記載中就已注意到，历代常常把"旱""蝗"并提，这由于干旱在某种程度上可以促进蝗虫的猖獗，而另一方面干旱則能加重蝗灾严重程度。近二、三十年来关于干旱与蝗虫大發生关系，也有些試探性分析，如蔡邦华[32]，曾根据浙江在1927—1929年蝗虫發生情况，进行分析，認为如5、6、7月(杭州，筧桥气候观測記录)雨量低于500毫米則为旱年，将为蝗虫發生年。馬

俊超[16]在分析江苏省清代旱蝗关系后，所得結論为春旱与否和蝗灾發生关系不显著，冬旱及秋冬旱則往往能引起次年的蝗灾；夏旱、夏秋旱及春夏秋連旱最易引起蝗灾，春夏旱次之，秋旱又次之。日人道家信道[55,56]、畑井直树[48]、近藤鉄馬[42]、柳原政之[62]，在調查河南、河北、山东蝗害报告中也曾提到蝗虫在这些地区的猖獗与旱涝有关連。曹驥[23]在历代蝗灾記載之分析一文中，用計算相关系数的方法，也得出蝗旱的發生有正相关的結論。这些文献都值得参考，但也不可否認由于 20 世紀以前的記載不够精确，以及当时对各地蝗区情况与大發生时各蝗区間相互关系了解不够，使这些調查研究的結論有陷于片面的缺点。

我国各地蝗区發生旱涝的原因不一，为了便于分析，現仍以發生蝗害頻繁的黄淮平原为对象，并首先討論黄淮平原的气候特性。黄淮平原的气候系过渡带气候，兼具备华北平原和长江下游地区气候的特征，雨量的分布，由南向北逐漸减少，最南在 1000 毫米上下，沿淮河为 750 毫米，最北只有 500—600 毫米，又从东向西雨量亦略减少，下游平均年雨量約为 870 毫米，中上游平均只有 690 毫米。雨量在四季的分布，略呈集中于夏季的現象，故夏为雨季。全域平均，夏季約占全年的 48.1%，冬系干季，雨量仅占全年 10.9%，春季占 21.9%，秋占 19.1%。向南春雨稍多，向北春雨漸少，而夏雨更多，冬雨更少。在长江下游雨量曲綫的次高峰在 4 月，主要高峰在 6 月，在淮南 4 月的次高峰已不明显，主要高峰在 7 月，在淮北 4 月的次高峰完全消灭，主峰在 7 月与华北雨型曲綫相似，7 月平均雨量約占全年 20%，其次 8 月，約占 17%，近海地方因受颱風影响，8 月为雨量最多的月份，1 月或 2 月雨量最少。造成旱涝原因之一的雨量变率在淮河流域亦較大，平均年变率为 20—30%。多雨年月，雨量可超过常年雨量 50% 以上，甚至于 80% 或 90%，例如 1921 年蚌埠年变率是 90%，1954 年 7 月变率是 94%；1931 年徐州年变率达 127%。反之，少雨年份，雨量可以低于常年 50%—70%，即不到常年的一半或三分之一，例如 1913 年淮陰的雨量只有常年的 43%，1936 年項城雨量只有常年 30%。本区域南部雨量多时，全年可到 1500 毫米，北部可到 1000 毫米，中部最多在 1250 毫米上下，雨量少时，南部地方只有 600 毫米，北部地方只有 300 毫米，中部在 400 毫米上下。最大与最小年雨量之比，相差很大，从南向北增加亦快，南部比較在 2 倍上下，北部可到 5、6 倍，全区域平均为 2.7 倍。夏季雨量变率很大，常年夏季雨量已占全年 50%，多雨之年夏季雨量可以超过常年一倍以上；少雨之年，夏季雨量又常低于常年 50% 以上，甚至于 70—80%，仅占常年雨量 10—20%，春季雨量变率常达 70—80%，可降到仅占常年雨量 4—5%，上述的这些降雨特征，是构成本区域旱涝的重要原因。

兹将近 1000 年本区域几个代表地区發生的严重旱涝次数統計列表于下：

	开　封	淮　陰	徐　州	阜　陽	宿　县	寿　县	鳳　陽	盱　眙
旱	43	25	34	25	27	55	26	86
涝	22	73	102	56	49	105	47	183

然后把上列 8 个地区 1000 年来發生的蝗灾次数、發生年份与旱涝的發生次数、發生年份結合分析則得表 4 所列結果。

从以上两表所列結果可以看出，在黄淮平原这 8 个代表地区內，除开封外都是涝灾多

表4　淮河流域历年蝗灾与旱涝灾关系統計表(机遇率%)

地　区	旱蝗同年發生	先旱后蝗1年	先旱后蝗2年	先蝗后旱1年	旱蝗無关　年	涝蝗同年發生	先涝后蝗1年	先涝后蝗2年	先蝗后涝1年	涝蝗無关　年
开　封	15.78	7.89	13.16	5.26	57.91	4.35	4.35	8.70	4.35	78.25
淮　陰	3.84	7.69			88.47		3.04	12.16	15.20	83.28
徐　州	21.42	14.12			64.46	1.32	7.90	21.08	1.32	68.38
阜　陽	8.70	8.70			82.60		1.82	3.64	1.82	92.72
宿　县	10.71	3.57			85.72		3.85	7.70		88.45
寿　县		5.50	2.75		91.75	1.16	3.94	10.20		84.20
鳳陽(蚌埠)	25.81	16.13	12.90	9.67	35.49	7.69	11.54	23.07	3.85	53.85
盱　眙	25.92	18.53	2.47	4.54	48.54	8.62	17.47	23.21	5.74	44.96
平　均	14.02	10.27	3.91	2.72	69.07	2.67	6.69	13.78	2.32	74.54

于旱灾，此种情况与各該地低洼地形有一定关系。旱涝与蝗虫大發生間的关联，系因地而异，如开封、阜陽飞蝗大發生与干旱关系較与水涝关系显著；寿县飞蝗大發生与水涝关系較干旱为显著；徐州、鳳陽、盱眙等地飞蝗大發生与旱涝的关系几相等。总的来看，干旱与飞蝗同年發生的机遇率最大，其次为前一年干旱而后一年發生蝗灾的机遇；就水涝与蝗虫大發生关系的时間間隔而論，則以前2年涝而間隔1年即鬧蝗灾的机遇率最大，其次为前年旱而第2年即有飞蝗大發生。从各該地区地理条件来看，上述情况尙屬合理，因为大旱当年可造成秋蝗猖獗，大旱第2年常出現夏蝗猖獗，如無其他环境条件抑制，大旱第2年秋蝗仍易猖獗并可延續到大旱第3年夏蝗。大水与蝗虫大發生同年出現的可能性，除非是春夏旱秋涝的情况，夏蝗發生后再鬧水灾即該年旱涝均有，否則涝蝗同年發生的可能性很小。由于上述各該地区水涝多出現于秋季，所以涝后第1年夏蝗發生很輕，秋蝗密度开始有显著增加，故大發生出現时期早的在涝后第1年秋季，迟的則到第2年。

从表4中也可看出，旱对于飞蝗大發生作用較涝为大，而旱与涝可促成飞蝗大發生的机会則因地而异，有的地区只有9.2%左右机会，有的地区則超过64%，但必須說明由于过去飞蝗大發生資料不够具体，使上述結果与实际情况有一定的出入，并根据近5年研究結果，可以推断旱涝与飞蝗大發生的关系应超过表4所列結果，即表中旱蝗無关年和涝蝗無关年所列数字都偏大。

2. 降水　降水与飞蝗大發生关系，可从降水量变率、降水密度和降水强度来进行分析，圖10系选擇靠近蝗区几个有較长时期气候記載的地方，将1951—1955年降水量与多年总平均作一比較，徐州、惠民代表黃河流域，北京、天津代表海河流域，淮陰、东台代表淮河流域，南京、上海代表长江流域，柳州、海口代表南岭以南地区。北京地区5年来只有1951、1952两年雨量低于总平均，其余3年都高于总平均，在此5年中北京地区蝗虫全部完成两代的年份只有1952年，其余年份完成二代的在1951年約有70%，1953年約有50%，1955年約有30%，1956年約有5%，而1954年仅完成1代。在天津这5年中低于总平均雨量的年份只有1951、1953年，而天津地区蝗虫發生年則为1951、1952和1955年，1952年雨量平于总平均，1955年雨量距平則为+27%。从这两个地区的年雨量变化，尙不足以說明雨量的显明作用。圖11为北京地区5年来各月雨量分布和变化，我們知道北京地区4月份以前的温度和10月以后的温度都在蝗虫活动温度以下，故此6个月的雨量对蝗虫作用不大，比較5年来5—10月雨量变化，則不难看出6月份雨量关系最大，凡6月份

雨量低于总平的年份，大多可完成夏秋蝗两代，若距平达＋50％以上則即使秋季(9,10月)干燥亦难以全部完成秋蝗，此系由于蝗虫在北京地区6月內正系第1代蝻期和成虫羽化初期，若此时天气干暖則7月末以前可大部产卵，第2代即可在8月中旬左右孵化，10月中旬后的早期寒流入侵时則已完成产卵，若5月下旬和6月多雨或陰湿，則蝗虫羽化盛期将延至7月下旬，羽化期正値雨季势将增加成虫死亡率，同时产卵盛期将延至8月中旬，孵化期推迟至9月上中旬，如此即使9、10月干暖亦不能完成一代，并根据1954—1956三年野外观察，9月上旬以后所产的卵，当年仍可孵化的仅占10％弱。

德州地区5年中1951、1952年雨量低于总平，而蝗虫大發生为1952年(夏秋)、1955年秋，1953年仅于8月大雨后在部分地区有小發生，若单純的靠年雨量变化来分析，則不易解釋。从圖12中可看出6月份雨量作用不大，5月份雨量关系較大，例如1952年6月份雨量高于总平，5月份雨量在1952年和1955年均低于总平，其余3年均高于总平；又在此5年中只有1951、1952年8月份雨量低于总平，其余3年均高于总平，但从秋季雨量和第2年夏蝗發生关系来分析，則可看出8月雨量小的，第2年夏蝗不严重，該年秋蝗可能严重，若該年8月雨量大，則第2年夏蝗可能严重。惠民、利津、沾化等地区近年来發生情况亦大致与上述情况相似。此系由于德州、利津等地区在春季經常干旱，5月为夏蝗孵化期，如5月無过大雨量，即使6月出現过大雨量，对已孵化的夏蝗無决定性影响，因6月在該地区已进入比較稳定的高温期，8月上旬为秋蝗孵化盛期，故如8月干旱，当年秋蝗可能猖獗，但由于一般年份9月起雨量已少，8月干旱的結果使适宜于飞蝗产卵的地区縮小，故来年夏蝗發生不严重，如8月雨量大，則当年秋蝗孵化率低或幼蝻死亡率高，因之秋蝗不严重，但8月大雨有利于秋蝗产卵与蝗卵越冬前發育，为来年夏蝗發生具备了条件。

微山湖区蝗虫在1952年夏秋、1955年秋都系大發生，1953年秋在嘉祥局部地区亦曾大發生，但1952年降雨量距平仅为－9.5％，1955年距平則为＋30.6％即超过总平均雨量30％强，而1953年雨量低于1952年，但1953年在微山湖大部地区飞蝗發生都不严重，显然这也不能单靠年雨量来解釋。从各年4至9月雨量分布和变化情况(圖13)中，則可看出1952年的春夏季干旱系与1951年秋干相联系，而1955年秋蝗的严重只能在1954年秋季和1955年春季干旱的基础上所形成。1953年全年雨量較低，各月雨量分布亦相当均匀，而在1952年大發生之后，若仅按气候情况而論似应大發生，但由于1952秋和1953年秋微山湖水位較高，許多地形比較低洼的重点蝗区漫水，乃至1953年夏秋季和1954年春季蝗虫發生都不严重，这說明微山湖地区飞蝗發生不单純的直接受本地雨量影响，水位变化較当地雨量可能更重要。

圖14为洪澤湖地区5年来各月雨量变动情况，在这5年中，年雨量显著低于总平均的有1953、1954年，而蝗虫大發生則为1951年秋、1952年夏和1955秋，但这3年降雨量除1955年略平于总平均外，其余两年显著超过总平，即使进一步从这两年各月雨量分布情况来分析亦不能解釋这两年不發生的原因，1952年秋季洪澤湖水位超过12米，1953年秋季超过12.5米，1954年秋季更高达16米，致使1953年夏蝗、1954年夏秋蝗以及1955年夏蝗發生面积都比較縮小，这說明洪澤湖蝗虫發生情况与微山湖蝗区有一共同特性，即当年蝗虫發生面积与数量变动不一定仅受当年当地的雨量影响，而导源于上游地区雨量变化而發生的湖水位漲落常起着显著的作用。

圖15大致可說明黃海海濱蝗区5年来各月雨量变化情况，若以这5年来蝗虫發生面积来对照，則亦可看出当地当年雨量所起的作用也不是唯一主要的因素，而海潮变化所引起的影响有时也同样重要。

1955年在柳江盆地中、雷州半島的湛江平原和海南島南渡江下游的冲积地带，都曾有点片飞蝗大發生的形势出現，从圖9、16上显然看出这系由于1954、1955两年雨量过低所造成。东亚飞蝗在南岭以南地区8月后仍可完成一代，1954年秋季干旱有利于飞蝗生长与繁殖，故在1954年秋后飞蝗密度已相当增高，1955年7月以前干旱，致造成該年夏季大發生，7月起雨量增高，故秋季密度有显著降低。本地区雨量从17年的总平均中各月雨量分布上来看，以6月雨量最高，其下依次为7、5、8和4月，5年来雨量变率最大月为7月，出現雨量低于总平均的最多月則为6月，故从比較各月雨量变率的关系上看，造成1954年秋季干旱的雨量系从9月起，而造成1955年春夏干旱关系最大的月份則为4月。結合前面討論，知道4月在柳州地区正是第1代蝗蝻孵化盛期或幼蝻生长初期，而在北緯23°以南地区則正是羽化初期，故在多雨年份，由于陰雨天多而温度低，蝗虫孵化期延迟、幼蝻生长慢而死亡率高，待至5月雨季到来时，洼地有积水，适合飞蝗活动产卵的場合减少，故不易形成大發生，相反的如4、5月干旱，即使6月有較大雨量但因6月正値高温季节，而飞蝗在該时大部分已产卵，故影响已不大。

强度（降率）大的降雨可直接摧毁幼齡的蝗蝻，对于正在蜕皮和羽化的大齡蝗蝻同样亦極为不利，这是降雨的直接作用。例如淮河流域1931年6月17日到7月25日共計39日中和1950年6月26日到7月16日共計21天，各有連續3次暴雨，都是降雨很多，有的地方达到全年70%以上，有的地方多到与常年雨量相近，一日最大雨量，多是50—100毫米，最高达200毫米左右，每小时降率达25毫米。又如1954年洪澤湖附近7月份一个月的雨量相当于常年全年雨量，宿县在該月的雨量則超过常年全年雨量25%强，經过这样的降雨后很难在这些地区找到幼齡的蝗蝻。此外降水对于蝗虫尙有間接作用，例如多雨季节和陰湿环境生长的蝗虫食料植物，含水量都較高，蝗虫取食此类植物有延迟生长和降低生殖力的現象；陰湿环境幷有促进綫虫、蝗菌等天敌活动与繁殖的作用。相反地，干旱有利于蝗虫生长与生殖，但长期的干旱由于食料植物恶化，势亦将不利于生长、生殖幷增加其死亡。

在討論降雨对蝗虫大發生作用时，必須結合到我国飞蝗發生地的特性，东亚飞蝗發生地几全系坡度較小的傾斜地，这些地区的土質，高地为冲积型沙壤土，低洼地則多为沉积型粘土，所謂"無雨即旱，有雨即涝"的地势，大雨后洼地积水，飞蝗产卵在高地，干旱年高地土質干硬，飞蝗轉移到洼地产卵，当气候正常年份，随着干燥温暖的春季到来，高地先孵化低地后孵化，如該年夏季干旱，則大發生的机会很大，如雨季来得早，即当洼地蝗卵尙未孵化前有积水，則至多只有高地早孵化的蝗蝻可以幸存，低洼地区蝗卵不易孵化，但当干旱情况延續到中夏之后，飞蝗被迫仅能到有限的低洼地区产卵，此等地区由于土質粘强，無雨时易变干硬，故适当降雨对此等地区蝗虫發生則屬有利。再則黃淮平原雨量多集中在夏秋季間，如雨季来得早，洼地积水，秋蝗不严重，雨季来得迟，当洼地积水时大多数蝗蝻已發育到高齡甚至大部已羽化，故此代秋蝗的产卵地带全屬高地，如第2年春季雨量适中，此批蝗虫則能順利孵化，如春季特別干旱，則可能因失水而增大死亡数量。例如1953

年淮河流域春旱，一方面对于一部分由坡水地孵化蝗虫的生長、繁殖有促进作用，但对于因1952年秋水位上漲而被迫产在高地及堤堰上的蝗卵则有害，如洪澤湖、微山湖个别地区蝗卵，死亡率竟达到95%，其中幷有若干分布在堤堰上的蝗卵胚胎虽已發育完成，但因地表坚硬，未能上达地面而死亡在土中。故有的地区不称"旱蝗"而改称为"雨后蝗"，也有其中原因存在。

旱涝对蝗虫的影响，在卵期是間接的，旱涝引起土壤含水量和空隙度的变化，旱涝亦必然引起土壤化学性質如含盐量的升降，蝗卵在土內發育所需要的含水量在各种土类內不同，当土壤含水量超过适度则有害于卵的發育，其有害程度，視旱涝的輕重而异，也随胚胎發育期而有很大的差异。

大雨之后洼地蝗区有积水，夏蝗适宜产卵，当夏季湖河水上漲后，产在湖边及河床附近的蝗卵也时遭水淹，淹水对于蝗卵生活力的作用，决定于蝗卵的發育期、水的温度、淹水时間的长短和水的动态。一般說来，蝗卵在浆膜表皮形成后至胚胎轉旋以前（相当于30°C恒温下第6至10天的胚胎發育期)，由于浆膜表皮增厚，对于干旱的抵抗力最大，胚胎發育初期(相当于30°C恒温下第3天)即浆膜开始分泌含几丁質的表皮时，以及接近孵化期的發育后期(相当于30°C恒温下10天以后)最小。根据1953、1955年在洪澤湖、微山湖进行試驗所获得的結果，越冬蝗卵(胚胎發育期相当30°C下的第6天)从9月开始淹水到次年4月历时212天，約有40%孵化，淹水到6月即历时273天則只1%左右孵化；在11月初淹水到第2年8月中旬历时283天全部死亡；但越冬后的蝗卵（即胚胎旋轉期初成时，約当30°C第8天)从4月15日淹水15天后的孵化率亦只有40—45%，淹水30天的孵化率为12%，淹水45天的全部不能孵化；由5月初至6月初淹水30天后，亦全部不能孵化。夏蝗所产的卵于产下后3天淹水，水深5—10厘米。在水下土壤平均温度25°C以上时，15天后蝗卵死亡率100%；水深約80厘米，而蝗卵發育期5—10天（相当越冬胚胎期)，淹水15天后死亡率为50%左右。

表5中可看出在洪澤湖和微山湖两地两年的水温，由6月中旬到9月上旬候平均都超过25°C。

在室內用5种不同組合的水温进行淹水30天的試驗，初步結果証明在24—28°C中孵化率只有0.2%，32—36°C温度中全部未孵化[24]。

由于蝗卵無論在胚胎發育时或在發育休止时(例如在15°C以下的低温中)，均进行呼吸，因此影响水中气体含量的水态，即直接影响到蝗卵成活与發育，蝗卵在水內耗氧率因發育期的不同而异，發育后期耗氧率較發育初期大24.6倍，較發育中期（即浆膜表皮形成后)大2.7倍，并經試驗証明流水和靜水因水中氧气含量不同蝗卵死亡率即有差异，在滞水或气体交換不强的水中，蝗卵孵化率較流水中为低[25]。

干旱常相对的伴着高温，对于已吸水的蝗卵，短期干旱有促进蝗卵發育的影响，長期干旱則可导致蝗卵因失水而干毙，試驗証明如失去水分不超过其吸取水分的总量，仍可完成發育，但孵化率显著降低，孵化期亦不一致，前后可相差达42天。对于未吸水的蝗卵，短期干旱则有抑制發育作用，高温下長期干旱，則可造成蛋白質凝固而致胚胎死亡。

3.温度作用　东亚飞蝗的适宜發育温度范圍，介于25—35°C之間，在此适温范圍內，卵、蝻、成虫的發育与生长系随温度增高而加快，随温度降低而延緩。生長速度快慢影响

表5 飞蝗發生季节水温变化記录

洪澤湖蝗区(1953年)

月份	日期	平均温度
5	12—16	19.6°C
	17—21	24.2
	21—26	24.3
	27—31	22.1
6	1—5	22.4
	6—10	21.9
	11—15	22.5
	16—20	26.2
	21—25	27.1
	26—30	30.5
7	1—5	29.5
	6—10	30.9
	11—15	32.1
	16—20	29.7
	21—25	31.3
	26—31	33.0
8	1—5	30.8
	6—10	32.2
	11—15	33.5
	16—20	31.1
	21—25	33.6
	26—31	28.7
9	1—5	26.8
	6—10	26.1
	11—15	24.0
	16—20	24.1
	21—25	23.4
	26—30	21.9
10	1—5	19.7
	6—10	21.3
	11—15	19.2
	16—20	18.7
	21—25	16.8
	26—31	16.8

微山湖蝗(区1954)

月份	日期	平均温度
4	1—5	14.4°C
	6—10	15.9
	11—15	17.9
	16—20	15.1
	21—25	16.2
	26—30	17.0
5	1—5	18.8
	6—10	20.7
	11—15	20.7
	16—20	24.0
	21—25	22.8
	26—31	24.1
6	1—5	23.8
	6—10	25.1
	11—15	27.6
	16—20	27.8
	21—25	24.9
	26—30	28.0
7	1—5	30.0
	6—10	28.1
	11—15	27.2
	16—20	28.1
	21—25	29.9
	26—31	30.0
8	1—5	27.8
	6—10	29.6
	11—15	30.3
	16—20	28.7
	21—25	28.6
	26—31	29.7
9	1—5	25.8
	6—10	25.5
	11—15	24.2
	16—20	23.8
	21—25	21.9
	26—30	20.1
10	1—5	17.6
	6—10	16.4
	11—15	17.3
	16—20	18.7
	21—25	18.3
	26—30	16.7

到当年發生代数的增减,温度高低影响到性成熟期长短和产卵間距大小,最后則影响到生殖数的多少,这是正常温度情况对东亚飞蝗数量变动所起的作用。温度的变化,特別在春秋季,易出現迅速升降,常致許多幼蝻因不能适应而死亡,据試驗生长在25—30°C变温下的III龄蝻,如逐渐降低到20°C时立即停止取食,迅速降低到16°C后即陷于淆迷,如16°C

繼續延长2天以上即出現死亡。又据試驗，吸水后的越冬蝗卵在－10°C地温下可維特15天，－15°C可維持5天，－25°C在1天以上即死亡，这說明冬季的温度变化可影响来年

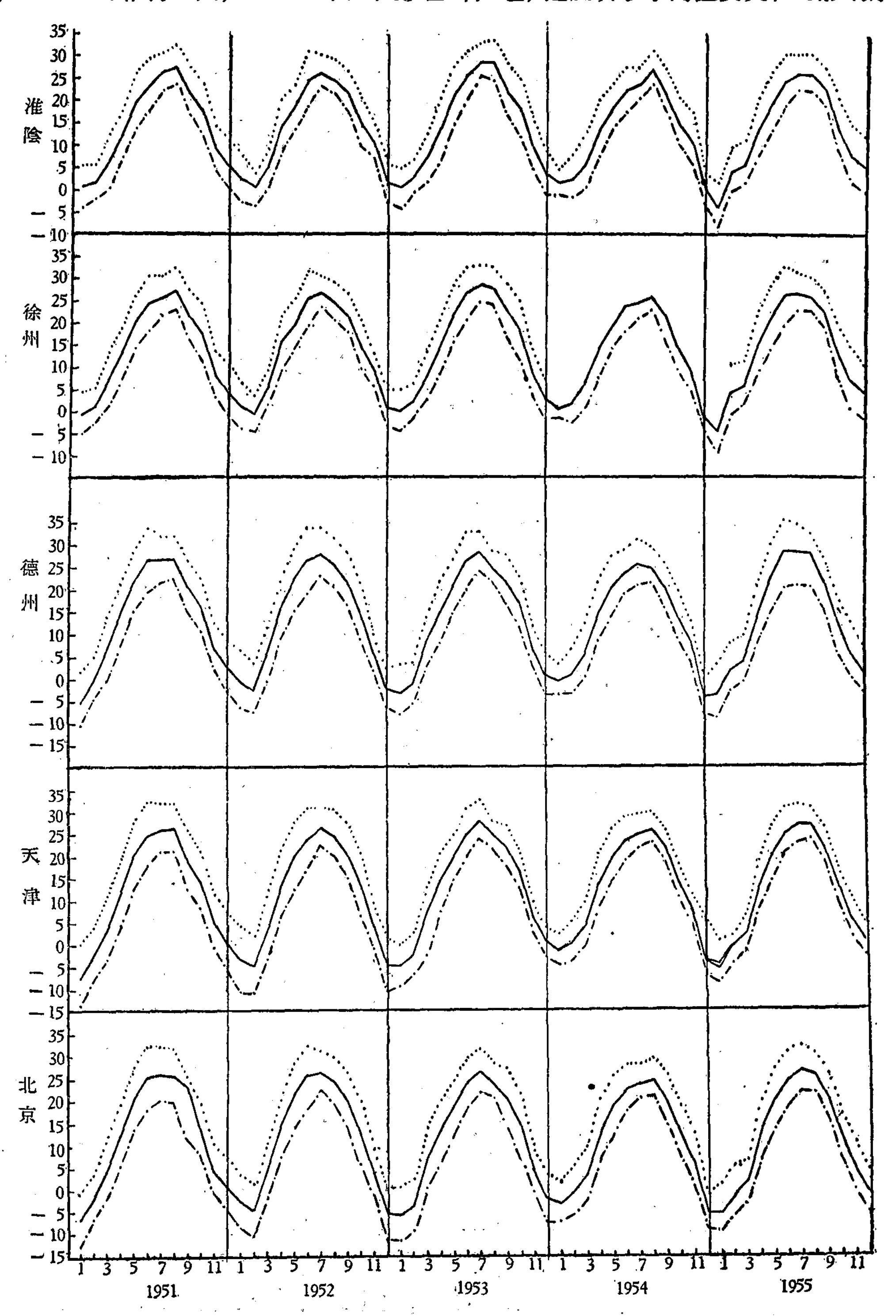


圖17　1951—1955年各地气温变化

……最高温度　——平均温度　—·—·—最低温度

第1代蝻的数量，我們試把北京等5个地区近5年来的气温变化作一比較（見圖17），則可看出1953年气温在5个地区都比較高，1954年气温在5个地区都比較低，从平均温度和最高温度来看都屬如此。关于飞蝗發生情况在前面已提到，即1951、1952为大發生年，1953年在許多地区都曾部分的發生过第3代，1955年在上列5个地区（或附近）亦有局部大發生，而1954年在此5个地区則均为小發生或未發生，这說明高温与飞蝗大發生有比較明显的关系，这种关系主要系通过温度对飞蝗繁殖速率的作用而形成。但必須說明高温并不完全有利于东亚飞蝗的数量增加，例如1953年洪澤湖地区曾發生第3代，發生数量相当于第2代产卵总量的0.08，而羽化为成虫的則占第3代發生数量的0.15，即相当第2代产卵总量的0.012，而第3代成虫的平均产卵量相当于正常成虫的0.0055，根据算式 $P=P_1(\frac{1}{2}N\cdot m\cdot C)$（$N$=生殖力，$m$=成活率，$C$=生殖系数，$P$=增加虫数，$P_1$=原来虫数）填入上列数字，則得 $P=0.198\ P_1$，即第3代的产卵数量等于第3代原来發生数量的19.8%。这說明洪澤湖区該年第3代發生，对1953年东亚飞蝗發生数量来說增加了8%，而对于1954年第1代飞蝗数量来說則减少了8%(1—19.8%)=6.416%，故对于种群系統数量变动而論，此項結果是减少而非增加。

冬季低温系致死越冬蝗卵的因素之一，从表3可看出东亚飞蝗向北分布的限制因子之一亦是低温，所以自北京地区（相当北緯40°）起向北各地区的冬季低温变化，将是影响这些地区飞蝗大發生的因素，但近5年来这些地区并未有飞蝗大發生，故無从深入分析。若就北京地区而論，近5年北京出現−10°C以下低温的最多天数为21，−15°C以下天数为4，而地温出現−10°C以下天数为15，这說明低温在近5年来北京地区飞蝗發生所起的抑制作用不大。淮河流域的絕对低温，在南部不过−10°C上下，在中部大多不过−15°C上下，而最北部約在−18°C上下，但出現这样低温的天数則不多，例如徐州在1951—55年的5年中，每年出現气温−10°C以下的天数不足10天，而出現土温（5厘米）−10°C以下的天数則为零。

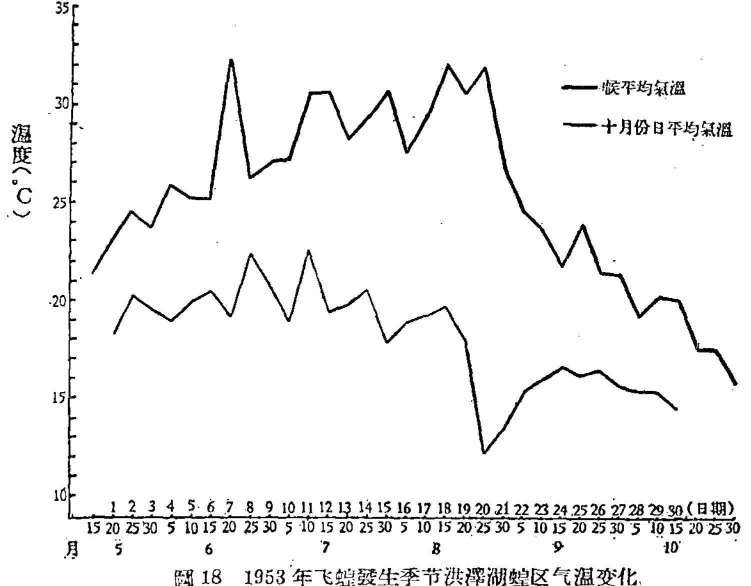


圖18　1953年飞蝗發生季节洪澤湖蝗区气温变化

春季和秋季是黄淮平原气候最不稳定的季节，特别在春季是冷暖气流消长的时候，气旋較多，風向不稳定，温度也最易發生变化，因此，春秋季的寒潮常使已呈現温暖景象的春季發生晚霜，或者使暖热秋季中驟然插入初冬天气，温度可由20°C降低到8°C，例如洪澤湖区1953年10月19—21日和微山湖区1954年5月13—16日的天气，每日絕对最低温度都曾降到5°C左右。如此温度迅速升降，显然对第1代初孵化的幼蝻和第2代后一批羽化的成虫不利［圖18、19說明洪澤湖地区1953年和微山湖地

区1954年春(5月)秋(10月)季气温变化情况]，如1953年洪澤湖区10月19日平均气温在18°C以上，20日寒流侵入后气温降至12°C，該年所發生的第3代蝗虫，大部分未羽化的在22日后即死亡，小部分已羽化的成虫也未得全部产卵亦于寒流侵入后7日內完全死亡。1954年微山湖区4月17—21日寒流和同年5月13—16日連續4天寒流后，据不完全的調查約有37%强的卵与幼蝻即因此两次寒流而致死。

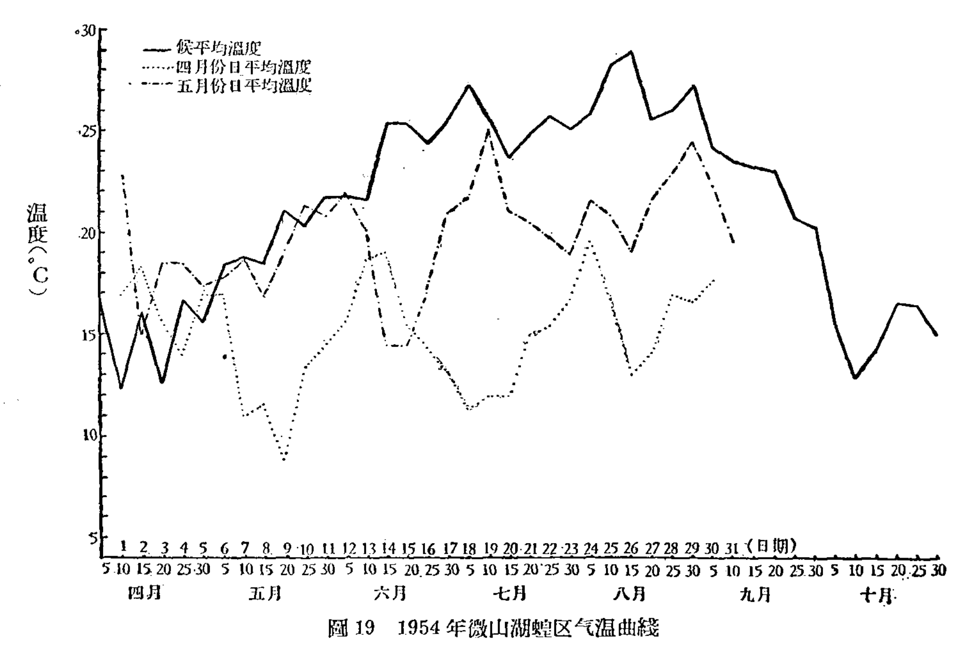


圖19　1954年微山湖蝗区气温曲綫

4. 風　据小泉清明[38]等研究，台灣大發生的飞蝗系菲律宾留讓(Luzon)飞蝗所侵入，侵入台灣时期多系在留讓大發生年的5—9月，尤其在貿易風最活动的6月出現的頻度最高，而6月風向平行于海流，有利于飞蝗由南(留讓)向北(台灣)迁飞。

东亚飞蝗在我国的發生基地主要分布在大陆东边緣，即沿海地区。其中主要的几个中心，在渤海沿岸北面为海河、南面为黄河，在黄海沿岸为淮河，华北平原的內澇蝗区主要貫連于永定河、子牙河和衛河水系，黄淮平原的內澇蝗区則以微山湖、洪澤湖为中心。从历代和近5年来飞蝗發生的形势来看，亦以上述地区發生頻度最高，由海河流域向北以及过长江而南显然系由上述几个中心所侵入，南岭以南即雷州半島附近蝗区則另自成一个单位。茲根据过去資料将各地区間飞蝗迁移或扩散关系表示于圖20。

試驗証明东亚飞蝗迁飞方向与風向、風力有一定关系，在三級風(5.4米/秒)以下为迎風飞行，三級風以上，飞蝗飞行时的头部虽仍保持与風向相反的方向，但迁飞方向則系順風[2]。为了分析圖20所表示飞迁方向和風的关系，援将有关地区在飞蝗迁飞季节的恒風向及其平均風速摘录于下，以資比較(表6)。

从表6看出渤海灣地区夏季多西南、南風，黄海沿岸地区則多东風，再向南則逐漸以东南風多；在距海較远的地区則以东和东北風較多，如就平均風速来論，則以黄淮平原及其近海一带地区較高。

試将圖20和表6所列結果互相对照，大致可說明飞蝗迁飞方向与各地夏秋季恒風向相符合。但由于飞蝗一生迁飞活动时期很短，只有5—10天，而表6所列結果系平均風速，

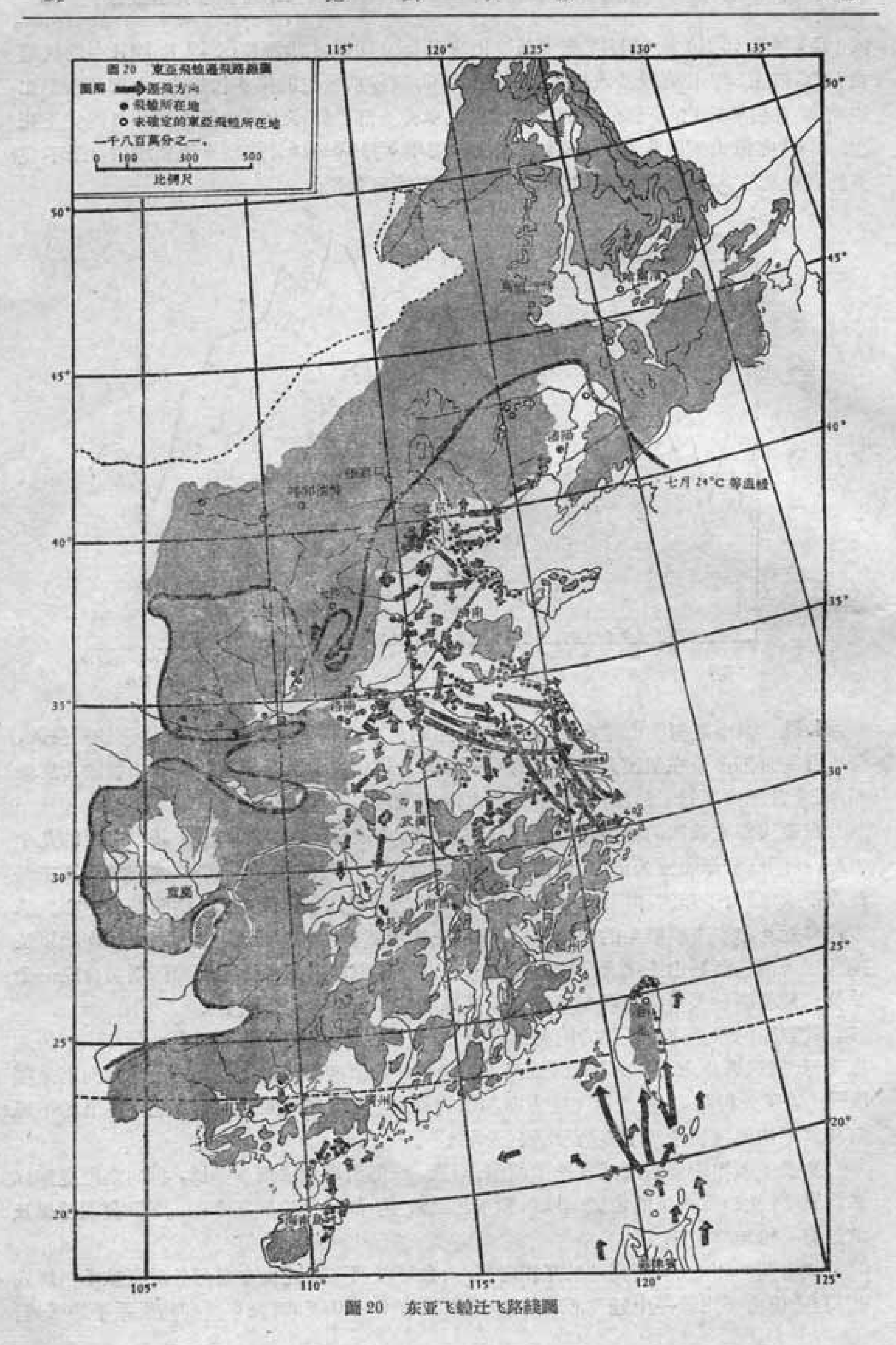


圖20 东亚飞蝗迁飞路線圖

表6　飞蝗迁飞时期各地恒風向与平均風速(米/秒)

地区＼月份		6	7	8	9	10	地区＼月份	6	7	8	9	10
秦皇島	風向	SW	SW	SW	SW	SW	开封	S	NE	NE	NE	N
	風速	1.7	1.7	1.6	1.8	2.0		2.8	3.1	2.5	2.1	1.8
天津	風向	S	S	S	SSW	SW	郑州	SE	SE	NE	SE	NE
	風速	2.6	2.1	1.8	2.0	2.2		3.4	3.1	3.3	3.8	3.7
保定	風向	NE	NE	NE	NE	NE	徐州	SE	E	E	E	E
	風速	1.6	1.3	0.7	0.7	0.9		4.0	2.9	2.3	2.3	2.2
烟台	風向	S	S	S	N	N	东台	E	S	E	NE	W
	風速	3.4	2.8	2.8	3.9	4.5		5.2	5.4	4.4	4.7	4.7
南通	風向	E	SE	E	E	E	九江	NE	NE	NE	NE	NE
	風速	6.9	7.2	7.1	6.9	6.6		1.3	1.3	1.4	1.8	1.8
上海	風向	E	E	E	E	E	貴县	S	E	E	E	N
	風速	2.4	2.8	2.7	2.5	2.4		1.6	1.6	1.9	1.6	1.6
杭州	風向	SE	SSE	NNW	NNW	NNW	海口	SE	S	SE	E	NE
	風速	1.3	1.5	1.5	1.6	1.4		1.5	1.7	1.5	2.0	2.2
汉口	風向	SE	SSE	NE	NNE	NNE						
	風速	1.6	1.8	1.9	2.0	1.7						

因此，其中有几分偶合的現象。从历代記載及近年观察飞蝗迁飞原因，風系一个外在的引导因素，使飞蝗由一地区迁入到另一地区，造成該地区的驟然大發生，風具有一定的作用。

此外，散居型飞蝗在性成熟时期有互相趋集現象，此种習性有利于繁殖，而这种趋集常發生于傍晚，即借零星迁飞的方式来完成。据观察迁飞方向与迁飞距离和当时的風向、風速有关，故可根据当时風向風速和蝗区地面情況（如地表干湿与植被稀密等）以預測飞蝗的交尾和产卵場所，这亦說明風对于飞蝗分布和發生的作用。

5. 太陽黑子变动与飞蝗大發生　关于太陽黑子与飞蝗大發生的关系，过去曾有学者指出洛磯山蝗（*Melanoplus mexicanus spretus* Walsh.）在美国西部大發生、沙蝗（*Schistocera gregaria* Forsh.）在北非大發生、亚洲飞蝗（*Locusta migratoria migratoria* L.）在中央亚細亚的大發生以及东亚飞蝗（*Locusta migratoria manilensis* Meyen）在菲律宾的大發生均与太陽黑子的周期变动有关。Щербиновский[57]幷比較和分析了太陽光环周期活动規律以及太陽黑子与相应的光点面积的变化与亚非地区沙蝗大發生关系，也認为沙蝗大發生周期与太陽黑子变化周期有关。

圖21系根据近208年（1749—1956）来太陽活动指数——黑子相对数与东亚飞蝗大發生指数而制成，圖中下面的一条曲綫代表太陽黑子相对数，上面的曲綫代表飞蝗大發生指数，两綫相对照，則可看出有些年份为正相关，即飞蝗大發生年正是太陽黑子相对数出現最高年，有些年份則为負相关，即飞蝗大發生的出現系在太陽黑子相对数最低年，或太陽黑子相对数出現最高年正当飞蝗不發生。太陽黑子相对数最高出現时期，从圖上亦可看出有9—11年的周期現象，但东亚飞蝗的大發生則無此周期現象。又根据此208年的

資料計算其相关，結果所得二数的相关性亦不显著($r=0.0424$)。

关于太陽活动規律或太陽黑子变动所引起对动物的影响，目前知道的还很少。大气物理学初步証明，太陽紫外綫輻射加强后引起空气离子化，并增加气体量，更高的气体离子化导致空气导电性提高，有可能影响到动物的新陈代謝作用；同时也可能由于所發生的

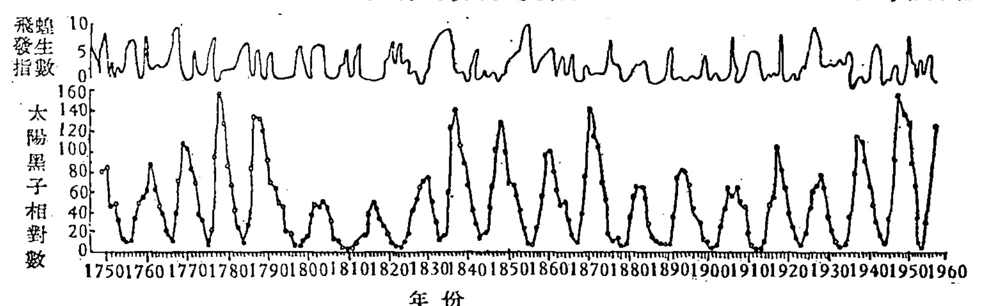


圖 21 太陽黑子相对活动数与东亚飞蝗数量变动对照

空气动力的作用引起地球上——蝗虫發生地的水、热及食物营养性質的改变，或者由于宇宙綫或磁場的变动，直接影响到动物生理机能。在另一方面，随着太陽活动的增加，增加海洋与陆地的温度差异，导致季候風强度的变动，因而影响到季候風所带来的雨量变化。一般来説，太陽是地球上一切生物的热能来源，所以在太陽輻射节奏性变化的影响下，地球上生物生态总体必然發生有节奏的变化，結果影响到地球上自然界一切生命發育特性的速度。自然，这种影响不限于一个局部地区，也就是不能以一个小自然环境內的生态特性的变化来解釋这种作用。

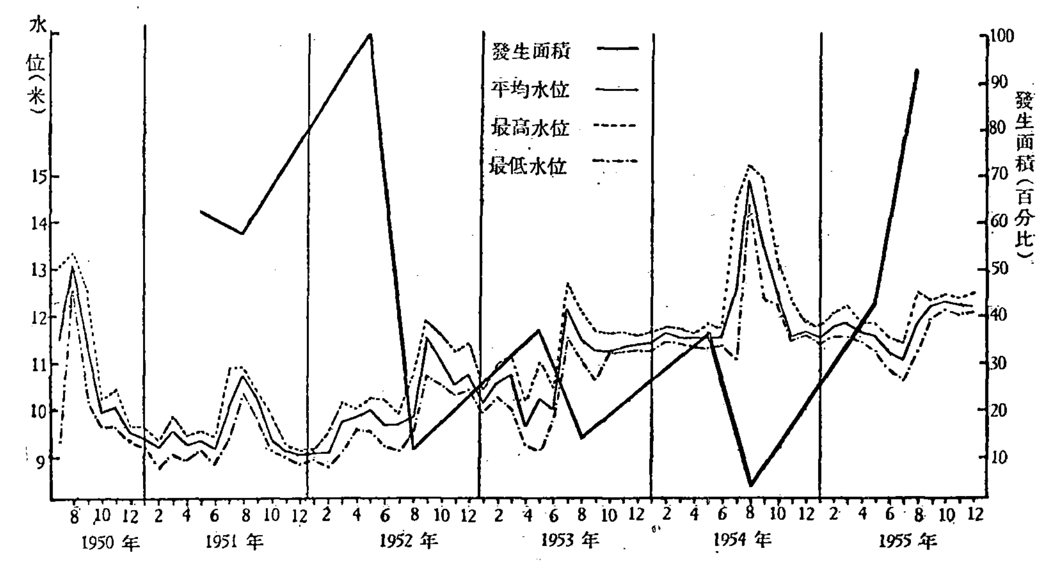


圖 22 洪澤湖水位变化与飞蝗發生面积关系

6. 地面水位变化 我国蝗区地理主要特征之一，在地形上都相对比較低洼，坡度小的为洼地，坡度大的則形成湖沼，这些地区在夏秋季由于雨量集中常易有积水，进入冬季后积水面积逐漸縮小，甚至干涸，在这种洼地或湖边附近的耕地面积，直接随水面的扩大而縮小，随水面的縮小而增大，但由于水位漲落無定时，所以实际上随水面作相反方向增減的不是耕地面积，而为适合飞蝗繁殖的荒地面积的增減。試以洪澤湖与微山湖为例，即可

説明水位变化与飞蝗変生面积的关系。

从圖 22 可看出下列几种情况：(1)1950 年洪澤湖大水，1951 年水位低，1951 年飞蝗密度开始上升，1952 年出現大發生，1954 年又为大水年，1955 年夏蝗开始上升，該年秋季出現 5 年內第 2 次的大發生；(2)湖水每年有 2 次漲峰，一为春泛小峰，一为秋泛大峰，显然每年秋蝗發生面积因受秋季高水位的影响較夏蝗發生面积小，如遇旱年，即春秋水位相差不大时，如 1955 年情况，則秋蝗發生面积即可能超过夏蝗；(3)洪澤湖蓄水位自 1953 年秋季开始提高（至 11.5 米），以致 1954 年夏蝗發生面积縮小。1953 年夏蝗發生面积縮小的原因，一方面系防治的結果，另一方面則因 1952 年秋季湖水上漲时正值秋蝗产卵盛期，水漲后产卵面积縮小，致影响到 1953 年夏蝗的發生面积。1953 年在洪澤湖地区系干旱年，若仅就气候作用而言，該年秋蝗面积应高于夏蝗，但由于湖水漲期提早，致使秋蝗發生面积未能增大。

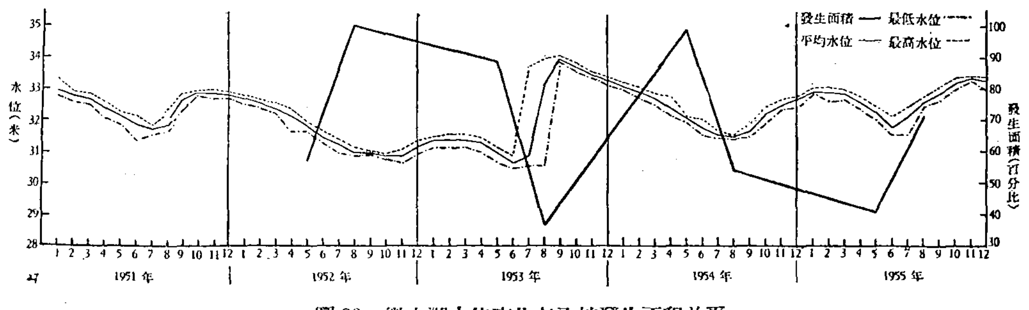


圖 23　微山湖水位变化与飞蝗發生面积关系

微山湖情况(圖 23)更为显明，1952 年微山湖基本上無秋泛，夏蝗受 1951 年秋季漲水影响發生面积不大，但秋蝗發生面积即有显著上升，1953 年春季繼續干旱，夏蝗發生面积虽在 1952 年大力防治之后仍未見显著降低，該年秋季湖水上漲时期早，而水位亦較往年为高，致秋蝗發生面积迅速下降，但由于湖水漲期不長，当后期秋蝗产卵时已有部分高地退水，并因为大水后荒地面积增加，致 1954 年夏蝗發生面积仍現上升，而該年夏蝗孵化期較往年迟 10—14 天，秋水上漲时期亦較往年迟，推延到 1955 年初，而枯水位出現时期仍与往年近似，但正为 1955 年夏蝗羽化末期，故 1955 年夏蝗發生面积小，秋蝗發生面积則大。

为了更进一步分析湖水漲落对于蝗区面积所起的作用，可参考圖 24。圖 24(甲)代表枯水期情况，也是干旱年沿湖的状态，在干旱年春秋两季作物(小麦、高粱、苘麻等)种植面积可伸进湖堤內 2—3 公里，夏蝗在湖边高地羽化后轉向湖中迁移，在作物地与湖水間的荒地上产卵，秋蝗孵化后如湖水位不漲，夏蝗即在湖边荒地上活动，羽化后如湖水位上漲不大，仅到达中常水位，成虫即移向邻近高地产卵[如圖 24(乙)所示情况]，如羽化后水位上漲甚大，达到洪水年水位[如圖 24(丙) 所示情况]，則秋蝗轉移到湖堤外的正常耕地或堤埂上产卵，因此，無論在枯水年或洪水年夏蝗都發生在地势較高的耕地或其附近荒地上。微山湖地区春季經常少雨，夏蝗孵化后随着際期增长逐漸向湖水方向的荒地上轉移，特别当小麦收获时正値夏蝗羽化期，加上人类活动干扰，也促使夏蝗向水边荒地上迁移，所以無論枯水年或洪水年秋蝗都發生在相对低洼的地区。若該年湖水上漲时期早，部分未孵化的蝗卵被淹沒水中，即减低孵化率。又因孵化的幼蝻活动力小，水漲后只能在水面

植物上生活，待羽化后方能向高地迁移，在此种情况下势将因病菌繁殖和虫体的發育不良而增加死亡。反之，若該年湖水上漲迟，当湖水上漲时蝗卵已全部孵化，部分早孵化的蝗蝻因温度高生长快，而龄期已大活动力增强，能作較远距离的迁移，因之成活率高。又每年湖水降落时，夏蝗随湖水下退而向水边活动产卵，如湖水下降时期較早而下降速度亦

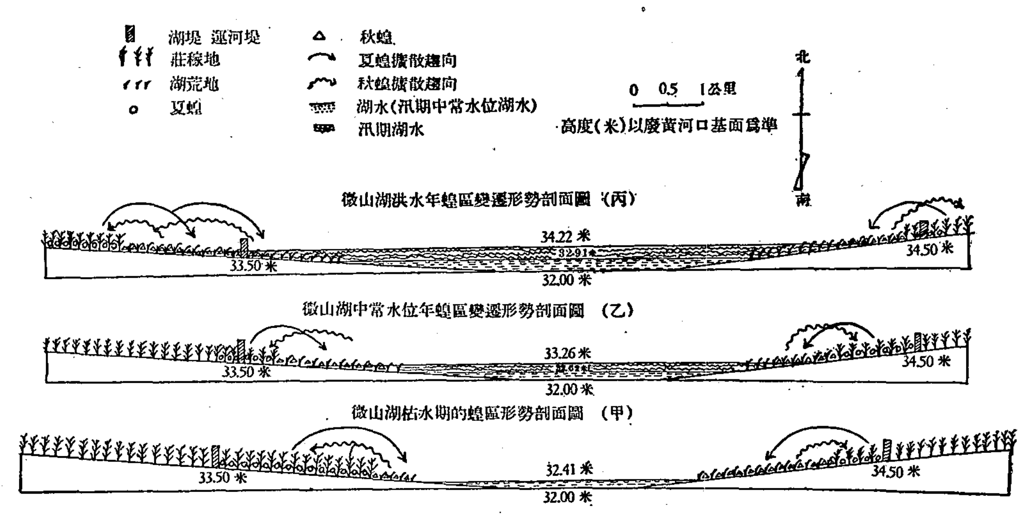


圖 24 微山湖沿湖蝗区变化形势圖

快，当夏蝗交尾产卵时，大部地区因退水較早，土面已变干硬不利于飞蝗产卵，产卵面积将因而减少，卵塊分布亦比較集中，并有較大比例因产于不适宜的土壤而增加死亡，当年秋蝗發生面积与数量都将随之减少。反之，如湖水下退迟緩，飞蝗得能随湖水退降而获得較大面积的适宜产卵地，当年秋蝗發生面积即将增大，而蝗卵死亡率亦低。一年內湖水漲落有其規律，夏季雨后湖水上漲，秋末冬初开始下退，至第2年夏初出現枯水期。因此，造成微山湖地区夏蝗向低地轉移秋蝗向高地轉移的規律，夏蝗發生决定于前一年秋季湖水上漲的高度与时間，而当年秋蝗發生則受制于湖水升降的速度与时期，故湖区飞蝗發生系受(i)湖水位高低和(ii)湖水变动的时期所左右，而当年当地的降雨影响有时反居于次要。

(三)天敌

天敌对于飞蝗大發生所起的抑制作用，在历代有关蝗害的資料中曾有記載，其中包括有鳥类、蛙类、蜘蛛、昆虫和菌类等。天敌所發生的作用不像上述旱涝所影响的范圍大，多發生于局部地区，且出現的次数亦不多，根据历代資料在过去1000年中天敌抑制飞蝗猖獗的年份，最多为12次，最少只有1次，就南北地区而言，則以江淮間出現頻度較大計1.2%，淮河地区次之計0.4—0.7%，黄河与海河流域最小，仅有0.2%。

1952—1956年在黄淮平原曾进行天敌調查，飞蝗卵期天敌有寄生与捕食两类，寄生类中以寄生蜂 (*Scelio luggeri* Ril.?) 作用稍大，主要發生于比較干燥的环境，从1955年起在黄海蝗区曾發現卵寄生蝇 (*Chlorops* sp.) 亦較多。寄生蜂据初步观察每年約發生3—4代，其中以7月中下旬所發生的一代因正値夏蝗卵期，故作用較大。捕食性天敌中則以豆芫菁 (*Epicauta gorhami* Marseul) 幼虫及长吻虻 (*Systoechus* sp.) 幼虫較易發現，一般出現在地势比較低洼的場所。寄生蜂的寄生率在各年各地都变化甚大，如1952年春季在洪澤湖地区検查最高寄生率为1.2%，1953年春季个别地区平均最高达到3.2%，但整个

洪澤湖地区总平均不到0.5%；1954年春季洪澤湖个别地区最高达到6.2%，但总平均只有0.3%弱。同年春季在微山湖地区檢查結果指出，寄生率亦系因地而异，变化于0—1.2%間。1955年黃海蝗区寄生率最高为2.9%，但平均不到0.1%，1956年黃海蝗区个别地区最高达17.8%，但平均不到0.3%。豆芫菁幼虫与长吻虻幼虫由于分布不普遍，对飞蝗大發生所起的作用亦不大。此外在蝗区內亦常見烏鴉 (*Corvus conone* L.)、喜鵲 (*Pica pica sericea* Gauld) 等在冬初时季掘取土內蝗卵，对其作用大小則缺少調查。

蝻与成虫期天敌，在捕食类中分布較广的为鳥类，据在黃淮平原調查，确定鳥类中食蝗虫的有18种，其中常見而且作用較大的有燕鴴 (*Glareola maldivarum* Forster)、白額燕鷗 (*Stera albifrons sinensis* Gmelin) 与田鷚 (*Anthus novaeseelandiale richardi* Vieillot) 3种，在所有較大蝗区內都有其分布，其中以燕鴴作用最大，初步推算每窩每日吃虫总数可达180克，約等于IV、V 齡蝗蝻500余头；在蛙类中有大蟾蜍(*Bufo bufo gargarizans* Cantor)、黑斑蛙(*Rana nigromaculata* Hallowell)、澤蛙(*R. limnocharis* Graven)，此等蛙类多分布在地势低洼地区，在蝗虫發生季节有87%以上蛙类取食蝗虫，根据野外取样檢查結果，估計每头每日食蝗蝻3头，在低洼地区一般年份的密度变化于0.2—0.7/米^{2}間。在干旱年或較干燥的地区，蛙类数量減少，代之而出現的則为蜘蛛。此外步行虫(*Amara* sp., *Calosoma* sp.)、螳螂 (*Paratenodera* sp.) 于1954年在洪澤湖地区个别小面积亦曾發生作用。在蜂类中如 *Priononyx* sp., *Polistes* sp., *Sachytes* sp., 蝇类中如 *Promachus* sp. 在夏季常比較普遍的出現于蝗区，捕杀III齡以下的蝗蝻。

在寄生天敌中，綫虫 (*Gordius* sp.) 寄生率随环境及气候与季节而不同，潮湿环境寄生率較高，秋季較夏季为高。被寄生的飞蝗成虫寿命較正常为短，活动力及产卵力均低，待至后期整个腹部充滿此寄生虫体而致死。綫虫分布甚广，海河至长江流域都曾發現，一般年寄生率为5—20%左右，个别地区如1954年微山湖張庙区及1955年安次县永定河泛区飞蝗成虫寄生率曾达到80.2%。拟麻蝇 (*Blaesoxipha lineata* Fall.) 幼虫多寄生于成虫，蝇蛆寄生部位多数在胸部，有时也發現于头部，蝇蛆在蝗虫体內主要嚙食胸部肌肉和脂肪，間或嚙及消化道及卵囊，飞蝗被寄生后活动力减弱，不能远飞，其中約85%仍能繼續生长，雌虫被寄生后产卵力降低，仅相当正常者38—51%，倘一头蝗虫体內有多数蝇蛆寄生則致死亡，如只有1、2头則在拟麻蝇羽化后仍可生活。此蝇分布亦广，南北蝗区以及內澇和沿海都有，寄生率根据过去3年調查約2—25%，但个別地区如1954年河南省西平老王坡、舞陽泥河洼子的局部地区所發生的秋蝗，成虫寄生率曾达38%。蟎(*Trombidium* sp.) 寄生于成虫体外，特别在后翅基部極其普遍，但害状不显著，被寄生的蝗虫与正常者沒有什么差异。麻蝇 (*Sarcophaga* sp.) 亦在飞蝗成虫体內偶尔發現，但其密度远較拟麻蝇为低。此外，在菌类方面如蝗虫的吊死瘟 (*Empusa grylli* Fr.) 原为我国南部蝗区常見的一种病害，特别出現在秋季或多雨年，但近5年来仅于洪澤湖蝗区發現少数标本。

兹为比較天敌与气候对飞蝗大發生所起的抑制作用，援将3年来在黃淮平原調查結果归納于下(表7)。

从表7看出黃淮地区天敌对飞蝗大發生所起的抑制作用几与气候因素相等，但气候作用的最低与最高間差异远超过天敌間差异，这說明近3年来气候作用变动大，天敌作用变动小。卵期因气候旱澇而致死的最高和平均死亡率都高于天敌，系由于黃淮平原的地形

和气候特征所造成，相反的，蝻与成虫因天敌而致死的数量则高于气候，此系由于蝻、特别是龄期較大的蝻和成虫，因活动力增强能及时轉移栖息地所致。越冬卵死亡原因如前一年秋季大水則多由于春季过干，此与前一年秋蝗产卵于高地有关，如前一年秋旱則第2年越冬蝗卵死亡率多数由于春雨。此則与前1年秋蝗产卵于洼地有关。蝻期死亡率有随密度增高而加大的趋向，在气候与天敌两方面的作用都如此。成虫被寄生率高，但死亡率低，若以夏秋蝗相比，則夏蝗死亡率低于秋蝗。

表7　1953—1956年黄淮平原东亚飞蝗死亡率(%)統計

項目 \ 致死因素 / 虫期	气候				天敌				总計
	卵	蝻	成虫	小計	卵	蝻	成虫	小計	
最低平均	0.49	0.12	0	0.61	1.75	2.74	0.21	4.70	5.31
絕对最高	29.61	9.17	3.33	42.11	21.65	16.47	5.90	44.02	86.13
最高平均	9.31	5.42	0.40	15.13	5.48	6.34	3.34	15.16	30.29

表7所列数字包括最低平均、最高平均和絕对最高都系局部地区的資料，而非3年来黄淮平原全部的平均值，但此等数字則足以說明本区域近3年来出現最高和最低死亡率的范圍。实际在各地調查結果，如以一个自然区为单位，3年来气候与天敌的作用均接近于上表所列的最低平均数字。

(四)食物

飞蝗的野生食料植物，有蘆葦等禾本科植物15种，荆三棱等莎草科植物4种。栽培作物屬于禾本科的如玉米、水稻、高粱等都为飞蝗所喜食，在極端飢餓情况下被迫亦可取食十字花科的作物如油菜和豆科作物如大豆等。初步試驗証明，取食不同食料植物的蝗虫，其生长速度、生殖力及成活率都有差异。

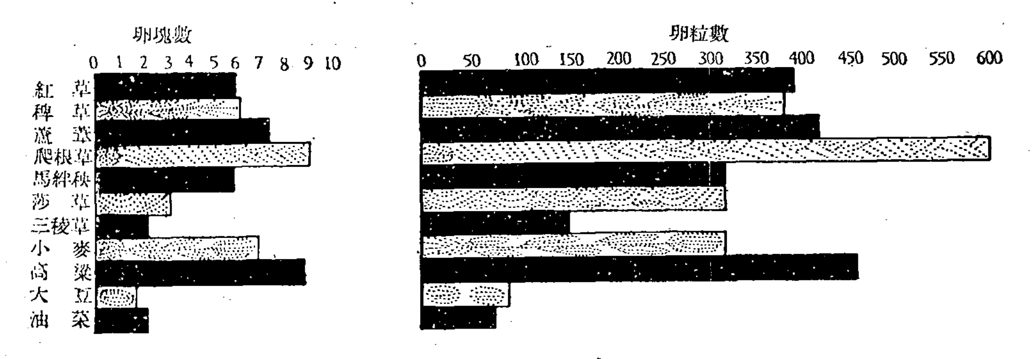


圖25　东亚飞蝗取食不同食料植物的生殖力比較

圖25、26均系根据野外試驗結果而成。从圖25中可看出蝗蝻由I龄發育至成虫性成熟期的成活率，在禾本科食料植物范圍內，以取食紅草[*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack.]、稗草[*Echinochloa crus-galli* (L) Beauv., *E. colona* (L.) Link]者最大，最低为蘆葦(*Phragmites communis* Trin.)及馬絆秧(莜草)(*Leersia japonica* Makino)；取食莎草科植物的基本上与取食禾本科者無大差异。在生长速度方面，夏蝗取食紅草、稗草、莎草(*Cyperus rotundus* L.)、馬絆秧、三棱草(*Cirpus triquater* Linn.)和高粱、小麦等

作物者較高，其間亦無太大差异；取食蘆葦及爬根草[*Cynodon dactylon* (L.) Pers.]的稍低，取食油菜的最低。秋蝗中則以食小米（*Setaria italica* var. *germanica* Trin.）的最高，稗次之，大豆 [*Glycine max* (L.) Merrill.]最低。

从圖 26 中則可看出成虫生殖力，在食野生植物中則以食爬根草的最高，其下依次为蘆葦、稗草、紅草、莎草、馬絆秧及三棱草，在栽培作物中則依次为高粱、小麦、小米，被强迫取食大豆油菜的最差；蛹期 I—IV 齡吃小麦、自 V 齡起改吃向日葵的也勉强可产卵，但为数極少；蛹期取食小麦、羽化后强迫改食棉花与花生的，均不能产卵。此外，实驗室內也証明完全以禾本科幼苗为食而發育的成虫，产卵前期可較正常發育成虫延长 3—4 倍，甚至不产卵。

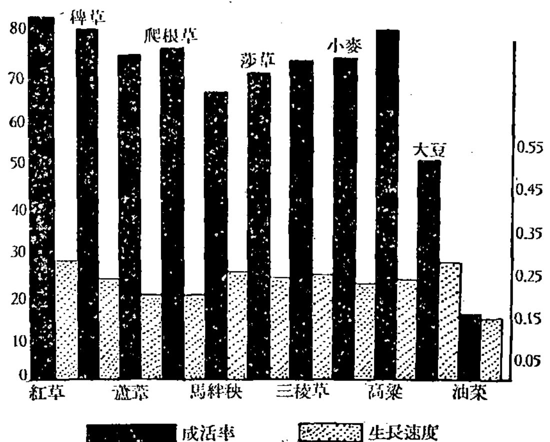


圖 26 东亚飞蝗取食不同食物的成活率及生長速度比較

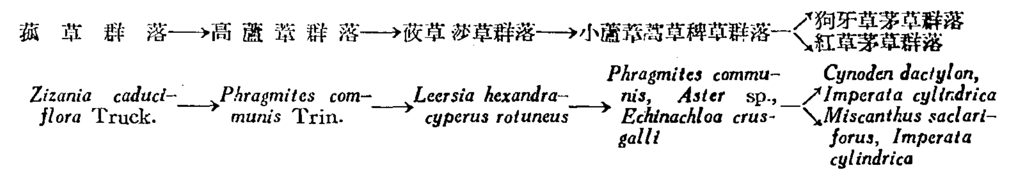
取食不同禾本科植物和莎草科植物的成虫寿命，并無显著差异，雌雄間差异較显著，即雌蝗生活期全部較雄虫为长，而取食大豆、棉等非禾本科作物的都显著短。

若将成活率、生长速度和生殖力三者結合来考虑，以三者相乘积作为指示种群数量增长的系数(簡称为种群增长系数)，則获得下列可資比較的結果：

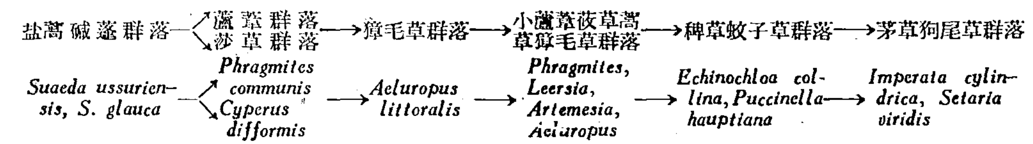
爬根草	紅 草	稗 草	蘆 葦	莎 草	馬絆秧
95.02	91.96	76.95	65.06	56.33	56.11
三棱草	高 粱	小 麦	粟	油 菜	大 豆
29.63	121.31	55.91	50.44	1.87	10.37

即在野生食料植物方面以取食爬根草、紅草的最高，取食三棱草的最低；在栽培作物方面以取食高粱的最高，油菜的最差。以上均系在半自然状态下观察的結果，若与在实驗状态下最高的种群增长系数(=237.6)相較，爬根草、紅草、高粱等的系数也只有 1/2。这說明东亚飞蝗数量变动的可能度的范圍相当大。

爬根草、稗草、紅草、蘆葦、莎草等为蝗区分布較广而数量亦較多的几种野生植物，系以混生状态构成蝗区的植被。但随着生态条件的轉移，如季节性地下水位变化和日照时数的长短，植被發生自然演替或消长現象，其更替程序以地下水位由高到低的变动为依据大致如下： 1. 內澇型植被更替



2. 海濱型植被更替



其中最适合于东亚飞蝗活动产卵的場所，則为小蘆葦蒿草稗草群落或小蘆葦莜草蒿草獐毛草群落的分布地带，此带植被复盖度約在40%左右，地下水位变化于1米上下。

高粱、小麦为蝗区栽培最多的作物，春夏間小麦灌浆期正是第1代飞蝗羽化初期，故冬小麦分布可作为东亚飞蝗分布地的一种指示植物。

圖27为东亚飞蝗与其食料植物之一——紅草的生长發育季节，这种野生植物大面积分布于洪澤湖蝗区。



圖27 东亚飞蝗与其食料植物——紅草的相关物候

总括上述，作为飞蝗食料的野生植物，普遍生长于蝗区，在1952—56年的5年內自然情況下，食料植物对东亚飞蝗大發生未起限制因素的作用。但在实験狀态下，不同食料植物对东亚飞蝗数量增减所表現的生态作用，則極明显。

（五）生物学特性

現在所討論的生物学特性，主要系指影响飞蝗数量变动的行为、生活力和繁殖力。生活力或生活强度在現时討論的范圍內，可用成活率和組成种群老幼成分的比例（Population age ratio）来說明。东亚飞蝗的成活率系指由卵發育至成虫（性成熟期）的数率，广义的成活率＝1－[卵死亡率＋(1－卵死亡率)·蝻死亡率]。換言之，包括天敌、气候、食物营养和种間关系等各种环境因素所影响的結果。关于天敌、气候和食物的作用在前面已进行討論，故此处拟仅限制于上述因素以外的环境条件，特别着重在种群內部的关系，即密度有关因素（Density-dependent-factor）。东亚飞蝗成活率經試驗（系在蝗区采用42×42×42厘米鉄紗飼养籠）証明系随密度而异，有随密度增高而减低成活率的傾向，这种現象在季节上有不同，并也受气候因素的影响，例如陰雨較多的年份夏蝗成活率高于秋蝗，在干旱年份秋蝗成活率高于夏蝗，如下表所示：

地区		东亚飞蝗不同密度的成活率															
		洪澤湖						微山湖					北京				
密度		6	12	18	24	60	120	10	25	50	100	200	10	25	50	150	300
1953	夏蝗	78.6	93.3	74.4	61	48.3	42.5	100	85	85	79	68	100	92	78	64	54
	秋蝗	82.6	95.5	76.6	80.5	53.3	45	100	100	91	92	87	—	—	—	—	—*
1954	夏蝗							100	92	58	55.1	54.5	85	88	58	58.5	42
	秋蝗							89	64	49	41	24	—	—	—	—	—*

* 北京地区秋蝗未全部完成产卵阶段

种群內老幼成分(即通常所謂 Population age)由于关系到新生或老死的数量比例，对某些能連續繁殖或生活期較长的种类，有其意义。东亚飞蝗由于在中国大部地区發生代数比較稳定，只在海河流域因为春秋季节到来的迟早变异，可产生一代的增減，故可以根据当时蝗蝻龄期比例去推算当年在进入越冬期时可能产卵的数量，这也仅限于一个指标的意义，而种群內老幼成分組成 (Population age structure) 本身对种群数量增减不起什么作用。

繁殖速率包含生长速度和生殖力，生长速度在極大程度上决定于气候和食物，气候中主要以温度作用最大，食物在自然情况下对东亚飞蝗亦無显著的限制性的影响。生殖力簡单的意义系以生殖数量的多少来衡量，关系生殖数量多少的条件，通常考虑到雌雄性比、生殖期、产卵間隔和每次生殖量。雌雄性比可能由于气候、食物及受精率的高低而發生变化，但根据近 5 年观察，同一卵塊孵出的蝗蝻雌雄性比可能不完全相等，然差异不大，变动幅度为 5—20% 左右，若在田間进行混合取样檢查，則雌雄比例的差异幅度縮小为 1—5%，即基本上近于 1:1。成虫性比在时間上略有不同，羽化初期，因雄虫羽化較早，故雄虫所占比例較大，羽化盛期过后雌雄数量極接近，待至产卵后期由于雄虫羽化早死亡亦早，故雌虫比例增高。雌雄性比在夏秋蝗間亦無差异。东亚飞蝗雌雄一生交尾次数相当多，少的为 4 次，次数最多的記录曾有的超过 40。虽然雄虫死亡較雌虫稍早，但由于雄虫交尾次数不只一次，且雄虫数量显著的減少系出現于产卵后期之后，故东亚飞蝗雌雄性比在繁殖数量上無太大意义。此外，在另一方面亦經試驗証明即交尾有促进雌虫卵囊發育的現象，未經受精的雌虫虽亦可产卵，但所占比例只有 50% 弱，其产卵数与受精雌虫相較只有 30%，其孵化率亦仅及正常雌虫所产卵的 15%，并孵出的均为雌虫，而成活率亦甚低，故純就生物学上意义而論，雌雄性比的作用在东亚飞蝗仍然存在。

表 8　历年东亚飞蝗雌雄性比統計

地区	年份	蝻期		成虫生殖前期		成虫生殖后期		附注
		♀	♂	♀	♂	♀	♂	
洪澤湖	1953—54	48.4	51.6			75.6	24.4	統計 7348 头蝗虫結果
微山湖	1954	47.5	52.5	43.2	56.8			統計 10571 头蝗虫結果
黄海	1955			40.1	59.9	55.1	44.9	統計 5032 头蝗虫結果

成虫生殖期在正常气候情况下，略較蝻期为长，以黄淮地区飞蝗为例，如夏蝗生殖期一般为 45—50 天，約較夏蝗长 5—10 天；秋蝗生殖期为 50—70 天，約較秋蝗蝻期长 15—30 天。夏秋蝗相較，秋蝗較夏蝗为长，斯由于夏蝗生殖期温度高于秋蝗所致。生殖間隔时間夏秋蝗亦有差异，夏蝗生殖間隔一般为 4—5 天，短者只有 2—3 天；秋蝗生殖間隔在早期較短，后期較长，一般为 7—9 天。

夏秋蝗生殖量略有差异，在一般年份夏蝗产卵量高于秋蝗，在多雨年份則夏蝗显著較秋蝗高，在干旱年份則秋蝗高于夏蝗，此系由于一般年份特别是多雨年，当早期秋蝗产卵时温度与食料尚都合宜，后期秋蝗产卵时温度漸低，食料在質与量方面均較夏蝗期为差，在干旱年秋蝗發生早，产卵盛期正值温度与食料适宜时期，故产卵量較同年夏蝗为高。

每头雌虫产卵量个体間变异可能很大，而同一代最低平均与最高平均产卵量亦常相差 0.5—1.2 倍，在此 5 年中每头雌虫最低平均产卵量 2.8 个卵塊，最高平均为 6.2 塊，总平均为 4.4 塊(夏蝗 S. D. 1.58，秋蝗 S. D. 2.58)，絕对最高为 12 塊。每塊卵粒最低平均 32 粒，最高平均 87 粒，一般 62 粒(夏蝗 S. D. 18.71，秋蝗 S. D. 20.12)，絕对最高曾达 181 粒。每雌生殖力如以卵粒計算則为 280—360，絕对最高曾达 721 粒。影响此項变化的因素除上述气候、食料等作用外，不同种群密度間亦稍有差异，即低密度的生殖力略高于高密度，但在室內外所进行的两型生殖力比較試驗(系由蝻至产卵期均分別采用群体与单对飼养)中，两型平均总的生殖数量則無显著的差异。

表 9 微山湖地区东亚飞蝗在不同密度下的生殖力比較

年 份	1953						1954				
密 度	6	12	18	24	60	120	10	25	50	100	200
夏 蝗	221	297	269.5	247.5	165	187	328	216	186.6	223	204
秋 蝗	392	351	318.5	247	221	219.	227	168	177	192.1	186.4

雌虫每次产卵时間距离，在食料不缺乏的条件下系随温度而增减。由于一头雌虫第 1 次产卵与最末一次产卵的时距有 24—36 天間隔，故在第 1 代成虫未死亡前可能出現第 2 代成虫，1953、1955 年在淮北以及黃河以南的濱海蝗区都曾發生两代成虫同时存在的現象，但数量不大。

聚集、扩散与迁移是飞蝗适应环境的一种行为，亦可被看作为調节种群数量的一种方法。聚集为群居型飞蝗一种特性，散居型成虫在性成熟期亦有此不甚显明的現象，这种行为促进了两性相遇的机会。扩散系散居型飞蝗的一种習性，扩散習性在蝻期有随齡期增长而表現逐漸显著的情况，这种習性降低了密度有关因素 (Density-dependent-factor) 如天敌等对种群数量的影响。东亚飞蝗扩散屬于定向扩散，决定于环境条件的变动，扩散結果使东亚飞蝗种群呈星点分布状态。迁飞現象据 1952、1953 年在洪澤湖区和微山湖区观察，群居型迁飞多开始于白日高温时間，即每日上午 11 时至下午 2 时之間，迁飞發生与高温刺激有关，迁飞結果使蝗群离开其原發生地。散居型迁飞多出現于傍晚，即日落后 1、2 小时許，这种零星迁飞的現象与当天温度和当时的光、風等天气因素有关，迁飞后多就地进行交尾、产卵，故迁飞的結果使东亚飞蝗种群回到原栖息地。迁飞習性不只对于新旧蝗区的变更与种群分布都有較重要的意义，对調节一个地区的种群数量以及提高繁殖速率亦均有其积極作用。

(六) 飞蝗大發生与变型

1953—54 年在洪澤湖、微山湖、北京三地区所进行的变型試驗，初步証明群居型与散居型出現，首先直接关系于种群密度，高密度多出現群居型，低密度易出現散居型，群居型第 1 代卵孵化群居型幼蝻，散居型第 1 代卵孵出散居型幼蝻，群居型幼蝻如自 I、II 齡起降低其密度，則羽化成虫后即有 85% 以上在虫体顏色与 E/F 上屬于散居型，亦失去其聚集習性。相反的，如散居型蝻自幼齡起增加其密度，在蛻皮 2 次后即出現群居型虫体顏色，亦同时表現聚集習性，至羽化成虫后約有 55% 以上在虫体顏色与 E/F 上屬于群居型。散

居型初羽化的成虫或V齡蝻在增加其密度后1、2日亦表現聚集習性。从这些观察中看出，群居型和散居型系伴随种群密度增减而出現，在变型的过程中，首先出現相应的習性，而后表現于形态。这說明型的出現含有种群密度改变的意义。

变型出現有地区性差异，在南方如湛江平原的近海地带和郁江、柳江、南渡江等冲积地带，在少雨季(年)內，植被稀疏，近地面小气候較附近地区干热，飞蝗發育快，活动性亦强，易于出現群居型。在多草地区，温度与湿度都高，由于植株隔离，蝗虫活动性弱，不易于形成群居型。在北方，群居型只能發生于植被稀而有炎热夏季的地区，如黄淮平原中部，在黄淮平原的近海地区在一般年份由于湿度高植被密不易形成群居型，故只能發生于旱年；在海河流域以北的地区，虽亦有植物稀疏的草原，但由于缺乏高热的夏季，則不易形成群居型，因此，变型現象由于地理条件的影响，使其与密度的关联受到改变。

在人为因素的干涉下，飞蝗种群發展趋势虽屬上升，但群居型出現的比例由于防治后密度降低而迅速减少，如1952和1955年在洪澤湖地区就發生形势而言（主要指生長速度与繁殖速率）均为大發生，两年發生面积亦相近，但發生密度則相差甚远(圖28)，1952年所發生的飞蝗有68%屬群居型，1953年应屬于大發生衰退年，該年飞蝗約近11%屬群居型，而1955年所出現的群居型数量不到5%的比例，到1956年基本上未發生群居型。

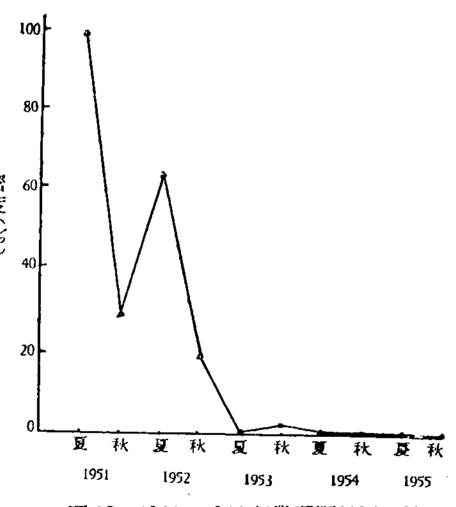


圖28　1951—1955年洪澤湖蝗区飞蝗發生密度变迁

在大發生过程中，根据种群結构分析結果，呈現群居型比例有逐漸增加的趋向，特别在群体迁飞时，由于組成蝗群的来源不一致，因此不容易找出其变化的比例。

东亚飞蝗两型差异，除表現于習性与外部形态較显明外，試驗初步揭露群居型蝗蝻生長速度較散居型稍大，群居型成虫性成熟期亦較散居型略早，但亦有时出現与上述相反的現象。在生殖力方面两型無显著差异，有时个体散居型雌虫所产卵粒数高于群居型个体，但此种差异若与气候等其他环境条件的作用所發生結果相比較，則居于次要。

結　　語

东亚飞蝗在中国各地發生代数，視南北地区而异，淮河流域为正常一年發生2代的地区，向南逐渐增加，近北緯25度即相当南岭綫一年正常可發生3代，近北緯18度一年正常可發生4代；向北逐漸減少，在北緯38度附近即相当于黄河流域北緣为一年發生2代的边緣地带，海河流域为一年發生1—2代的地区。在一年發生2代的地区，东亚飞蝗的生長速度在种群数量变动上所起的作用不大，在代数不稳定的長江流域和海河流域，生長速度对飞蝗的發生数量則有比較重要的意义，因此，在長江和海河流域对生長速度起作用的温度等因素，在飞蝗数量变动上就具有比較重要的作用。由于数量变动直接关系于代数的多少，故在同一密度的基础上南方（N25°以南）种群数量增加迅速，在1个周年內可造

成大發生，北方种群数量增加比較緩慢，如海河流域則需連續 2 年或 1.5 个周年以上方能形成大發生。

若就公元 957—1956 年 1000 年来旱、澇、蝗三者發生关系来分析，东亚飞蝗大發生显著地受大气候作用，但从近 5 年 (1952—56) 来飞蝗大發生过程来分析，地方气候中的雨量、温度和晴雨日数显明地显示出区域性的生态地理作用，而受地形所影响的水位变化表現尤为显明。天敌对东亚飞蝗大發生所起的作用，不如气候显著，在过去 1000 年內發生显著作用的出現頻率最高的地区为 1.2%，最低的地区只有 0.2%。近 4 年来在黄淮平原調查結果，寄生天敌的致死率变化于 0.4—5.7% 范圍內，各种天敌的总致死率則变化于 4.70—15.16%，个别地区的絕对最高曾到达 44.02%，这說明天敌的作用表現显明的地区性。

食料的生态意义在近 5 年两次大小發生中均不显著，系由于此两次發生时的野生食物在質与量上也均無显著变化所致。但試驗証明取食不同食料植物的飞蝗种群，在生长速度、成活率和生殖力方面都有差异。若以“种群增长系数”比較野生植物和栽培作物的价值，則可看出在蝗区內排水良好地带普遍生长的爬根草和紅草，以及在蝗区附近栽培最广的高粱和玉米的价值最高，从这一点亦可看出飞蝗、土壤和食料植物三者生存的联系性。若再进一步观察到东亚飞蝗对于不同水盐含量的土壤的选擇性，以及因水盐变化而引起自然植被更替前常即出現飞蝗發生地带的演变現象，則三者的关系更为明显。

由于地形系形成东亚飞蝗發生地的基本因素，使东亚飞蝗的大發生具有显明的地区性，但由于它具有迁移習性，致使在大發生期間种群的活动范圍超越了地区性的限制，这一特性对于东亚飞蝗种群消长类型，有直接关联。东亚飞蝗消长类型如根据其速度，可分别为阶梯式和突發式两类。

东亚飞蝗無显明的猖獗周期現象，各次大發生的間隔时期，最短为 4—5 年，最长为 15 年，9—11 年左右的次数最多，如将小發生、大發生分开来統計，則可看出 3—4 年有一次中小發生，1—2 个中小發生后常有一次大發生。太陽黑子变动有 11 年周期現象，但从近 208 年(1749—1956 年)太陽黑子相对变动数量与飞蝗發生消长情况相对照，二者并無显著相关性存在($r=0.0424$)。有的年份两者的高峰符合，而另一些年份則相反。一年內大發生出現时間，視地区及造成該次大發生的气候变动情况而异，如以黄淮流域为例，历年夏蝗發生面积多高于秋蝗，然在全年都干旱的年份，則秋蝗大發生严重形势超过夏蝗。

东亚飞蝗变型現象与密度有直接关系，在高密度下易出現群居型飞蝗，低密度則易發生散居型，两型轉变不只發生于两代之間，同一代內蝻期密度的增减可影响成虫的形态类型。在轉变过程中，首先出現于習性上，而后才發生相应的形态，两型在种群內比例的增减并不象征于种群生活力的盛衰，在大發生盛期的飞蝗种群中常亦混有散居型飞蝗，在大發生衰退期飞蝗种群中群居型所占的比例有时亦不少于大發生盛期，此种情况特别出現于大發生盛期而遭到外力干涉迫使密度下降的蝗群，例如連年防治可使种群密度比較长期的停留于低的水平，而只有少数群居型出現或甚至不出現。故两型出現比例并不足以表达种群盛衰形势。两型在生活力和生殖力上的差异不如夏秋季节間的差异为显著，而夏秋間所生的差异則决定于气候和食物，因此，两型轉变問題在經济意义上和东亚飞蝗种群盛衰上的意义表現都不太大。

降水在长江流域以南地区，一年有大小两次高峰，小高峰出現于春季，約在 4、5 月間，

大高峰則出現于7、8月間。小高峰高度愈向北愈不显著，过淮河后基本上已消失，故在黃河流域一年只有一个显明的雨季。故从雨季在一年內的出現时期来看，愈向北愈迟，在分析降雨对飞蝗大發生所起的作用在时期上的分布，也系由南向北而逐渐推迟，例如在珠江流域关系最大的为4月雨量，长江流域移至5月，到海河流域即移至6月。此种情况与春季温度在各地上升的时期有关，如珠江流域在3月份可达到飞蝗正常活动温度，到长江流域开始于4月，黄河以北則延迟到5月以后，故飞蝗在一年內的开始活动时期亦由南向北逐渐推迟。因此，温度以外的其他气候因素，自然須在飞蝗开始活动后，方能显示其作用。降水对飞蝗大發生的作用，决定于雨量变率，雨量变率愈向北愈大，因此，降水与大發生的关系愈向北也愈显著。

从温度与雨量对于东亚飞蝗大發生的相关作用，可看出以下的情况：柳江、郁江一带地区，若4月平均温度高于21°C，4月雨量低于100毫米、5月雨量低于160毫米，則当年第3代飞蝗可能大發生，如8月雨量亦低于160毫米則当年極可能大發生。长江下游地区，如5月温度高于21°C，4月下半月或5月上半月雨量低于80毫米或晴日数超过該月50%以上，則当年第1代飞蝗可能大發生；如7、8月雨量亦低于240毫米，則当年秋蝗可能大發生。淮河流域如5、9月温度高于21°C，4月下半月和5月上半月晴日数达到总数70%，而7月雨量低于100毫米，則当年秋蝗可望大發生；如7、8月雨量集中，而9、10月雨量低于100毫米，并温度高于21°C，則来年夏蝗将严重發生。黄河流域如5、6月連續干旱，两月的雨量低于100毫米（南部）—60毫米（北部），5、9月温度高于21°C（南部）—20°C（北部），則当年秋蝗可能大發生；如8月雨量大，即超过180毫米，9月温度高于21°C，而来年5、6月雨量低于100（南部）—60毫米（北部）（或北部5、6月晴日数达到70%），則来年夏蝗将大發生。海河流域地区，如5、6月雨量低于60毫米，6月晴日数占該月70%以上，而5、9月温度高于20°C，則当年秋蝗和来年夏蝗發生数量均将增加，如此等气候情况延續半年，則可形成大發生；但如8月雨量超过200毫米，9月温度低于20°C，則当年秋蝗和来年夏蝗都不至严重。上述各地可促成飞蝗大發生的气候情况，亦可用下列簡式說明（R……代表雨量，T……代表温度，S……代表日照）：

柳江郁江地区：$\frac{T_4}{21}+\frac{100}{R_4}+\frac{160}{R_5}>3\Rightarrow$秋季可能大發生，$\frac{T_4}{21}+\frac{100}{R_4}+\frac{2\times160}{R_{5.8}}>4\Rightarrow$秋季大發生。

长江下游地区：$\frac{T_5}{21}+\frac{80}{R_{4下5上}}>2\Rightarrow$夏蝗發生，$\frac{T_5}{21}+\frac{80}{R_{4下5上}}+\frac{240}{R_{7.8}}>3\Rightarrow$秋蝗發生，

淮河流域：$\frac{T_{5.9}}{2\times21}+\frac{S_{4下5上}}{42}+\frac{100}{R_7}>3\Rightarrow$秋蝗發生，$\frac{R_{7.8}}{300}+\frac{100}{R_{9.10}}+\frac{T_{9.10}}{2\times21}>3\Rightarrow$来年夏蝗發生。

黄河流域：

南部$\frac{100}{R_{5.6}}+\frac{T_{5.9}}{2\times21}>2\Rightarrow$秋蝗發生，$\frac{R_8}{180}+\frac{T_9}{21}+\frac{100}{R_{5.6}}>3\Rightarrow$来年夏蝗發生。

北部$\frac{60}{R_{5.6}}+\frac{T_{5.6}}{2\times20}>2\Rightarrow$秋蝗發生，$\frac{R_8}{180}+\frac{T_9}{21}+\frac{S_{5.6}}{42}>3\Rightarrow$来年夏蝗發生。

海河流域：$\frac{60}{R_{5.6}}+\frac{S_6}{21}+\frac{T_{5.9}}{2\times20}>3\Rightarrow$当年秋蝗来年夏蝗發生。

东亚飞蝗对于高低温度的适应系随虫期而异，卵期發育开始于15°C，而死亡于45°C；越冬期蝗卵能在短时間內忍受−20°C的低温。蝻期發育开始于20°C，在相对湿度低于

70%的情况下能在45°C高温下完成其發育，当温度降至18°C以下时即停止活动，在10°C中即現冷昏迷状态。东亚飞蝗各虫期的發育速度亦随温度梯度而异，在温度28°—35°C范圍內大致系随温度升高而發育速度呈比例的增加。但在此温度范圍以下降至25°C，有减低温积的傾向，在此温幅以上升至40°C，則有增加温积的現象，故东亚飞蝗温积的計算須分別温度梯度。由于越冬蝗卵所能忍受的低温不能超过－20°C，故冬季低温为东亚飞蝗向北分布的限制因素，但在北緯40°以南的地区，冬季土壤温度很少連續5天出現－20°C的情况，故冬季低温对东亚飞蝗在我国的大發生所起的限制作用不大。

参 考 文 献

[1] 王啓虞、鄒均履：1935. 民国二十三年浙江省飞蝗發生調查报告。昆虫与植病 **3**(6)：107—10。

[2] 尤其儆、陈永林、馬世駿：1954. 散棲型亚洲飞蝗（*Locusta migratoria manilensis* Meyen）迁移習性初步观察。昆虫学报 **4**(1)：1—10。

[3] 尤其儆等：1958. 东亚飞蝗的生活習性。昆虫学报(付印中)。

[4] 呂炯、宛敏渭：1955. 江淮流域气候上的水旱类型。地理学报 **21**(3)：245—58。

[5] 李光博、賈佩华：1951. 靜海县蝗虫發生調查及毒餌防治示范报告。农業科学通訊 **3**(7)：14—5。

[6] 沈思屿：1953. 淮河流域气候。地理学报 **19**(1)：105—19。

[7] 吳福禎：1934. 民国二十二年全国蝗患調查报告。实業部中央农業实驗所，特刊第5号。

[8] 吳福禎、郑同善：1935. 民国二十三年全国蝗患調查报告。实業部中央农業实驗所，特刊第10号。

[9] 吳福禎、郑同善：1936. 民国二十四年全国蝗患調查报告。实業部中央农業实驗所，特刊第14号。

[10] 吳福禎、陆培文：1939. 民国二十五年全国蝗患調查报告。經济部中央农業实驗所，特刊第22号。

[11] 徐淑英、許孟英、高由禧：1954. 海南島的气候。气象学报 **25**(3)：195—212。

[12] 陆培文、吳福禎：1947. 民国三十五年全国蝗患調查报告。农業部中央农業实驗所，特刊第31号。

[13] 陈家祥：1930. 中国蝗虫初步調查报告。江苏省昆虫局专門报告第8号。

[14] 陈家祥：1936. 中国历代蝗患之記載。浙江省昆虫局年刊，第5号，188—241頁。

[15] 陈高傭：1939. 中国历代天灾人禍表，暨南大学丛書。

[16] 馬駿超：1936. 江苏省清代旱蝗灾关系之推論。昆虫与植病 **4**(18)：362—73。

[17] 馬世駿：1954. 洪澤湖、微山湖蝗虫研究工作概况介紹。科学通报1954年3月号。

[18] 馬世駿等：1954. 洪澤湖蝗区研究——根治洪澤湖区蝗灾建議草案。內部参考文件。

[19] 馬世駿等：1954. 微山湖蝗区的研究——根治微山湖区蝗灾建議草案。內部参考文件。

[20] 馬世駿：1957. 昆虫动态与气象，科学出版社。

[21] 馬世駿：1956. 东亚飞蝗（*Locusta migratoria manilensis* Meyen）生态地理及其分布。(未發表)

[22] 馬世駿、尤其儆、陈永林：1956. 黄海蝗区的研究。(未發表)

[23] 曹骥：1950. 历代有关蝗灾記載之分布。中国农業研究 **1**(1)：57—64。

[24] 欽俊德、翟啓慧、沙槎云：1954. 蝗卵的研究 I. 昆虫学报 **4**(4)：383—98

[25] 欽俊德等：1956. 蝗卵的研究 II. 昆虫学报 **6**(1)：37—61。

[26] 張景欧、尤其偉：1925. 飞蝗之研究。江苏省昆虫局专門报告第1号。

[27] 郭郛：1954. 寄生蝗虫的拟麻蝇。昆虫学报 **4**(3)：277—86。

[28] 郭郛：1956. 东亚飞蝗的生殖。昆虫学报 **6**(2)：145—68。

[29] 鄒鍾琳：1935. 中国飞蝗之分布与气候地理之关系及其發生地之环境。实業部中央农業实驗所，研究报告第1卷第8号。

[30] 楊鑒初：1950. 台灣温度初步分析。气象学报 **21**(1—4)：47—52。

[31] 楊鑒初：1953. 运用气象要素历史演变的規律性作一年以上的长期預告。气象学报 **24**(2)：100—24。

[32] 蔡邦华：1934. 中国蝗患之預測。昆虫与植病 **2**(23)：456—61。

[33] 郑作新、錢燕文、郭郛：1955. 微山湖及其附近地区食蝗鳥类的初步調查。农業学报 **6**(2) 145—55。

[34] 顧震潮：1954. 我国早霜和晚霜区域預报的初步研究。气象学报 **25**(1)：23—46。

[35] 中国气候資料，中央气象局。

[36] 沂沭汶运水文資料，渤海灣水文資料，水利部。

[37] 农林部三十五年度治蝗报告，农林部三十六年度治蝗报告。农林部农業推广委員会，1947年。

[38] 小泉清明、小笠原和夫：フイソッピンの飞蝗と台灣との关系（气象生态学的考察）。热带农学会志 **24**(4)：266—75。

[39] 山下俊平：1944. 河南省开封及商邱治蝗指导报告。(未發表)
[40] 近藤鉄馬、張国建：1944. 順德地区蝗虫防除指导报告。(未發表)
[41] 門胁祥一：1944. 河南省开封、新乡、彰德等地治蝗指导报告。(未發表)
[42] 近藤鉄馬：1944. 山东省飞蝗防治指导报告。(未發表)
[43] 牧茂市郎：1915. 移住飞蝗，治灣殖产局出版第114号。
[44] 楚南仁博：1933. 移住飞蝗の調査幷に驅除顛末，治灣殖产局专刊第635号，1—59頁。
[45] 畑井直树：1942. 保定道雄县、安新县蝗虫發生状况調查及驅除指导报告。(未發表)
[46] 畑井直树：1942. 德县、吳桥县、东光县蝗虫飞来調查。(未發表)
[47] 畑井直树：1943. 保定蝗卵調查。(未發表)
[48] 畑井直树：1943. 开封、輝县飞蝗發生調查。
[49] 畑井直树：1944. 山西省太原蝗害防除指导报告。(未發表)
[50] 椎野秀藏、畑井直树：1943. 治蝗指导督励，タソ河南省开封县、中牟县、輝县幷ビ＝彰德县报告。(未發表)
[51] 桂琦一、一瀨一夫：1944. 河北省治蝗对策指导督励报告。(未發表)
[52] 柳原政之：1945. 河北省之飞蝗，河北省政府經济局。
[53] 道家信道、畑井直树：1942. 开封蝗虫發生被害状况調查。(未發表)
[54] 道家信道、畑井直树：1942. 宁河县蝗虫發生状况調查。(未發表)
[55] 道家信道：1943. 茶淀及軍粮城＝發生ヤル飞蝗幼虫驅除及生态調查。(未發表)
[56] 道家信道：1943. 华北の飞蝗，华北农事試驗場調查报告第14号。
[57] Щербиновский, Н. С.: 1952. Пустынная саранча шистоцерка. Тосудар. Издате. Сельскохозяйственной литературы Москва.
[58] Stetson, H. T.: 1947. Sunspots in action. The Ronald P. Co.
[59] Uichanco, L. B.: 1936. Secular trends of locust outbreaks, in the Philippine and their apparent relation with sunspot cycle. *Phil. Agric.* **25**: 321—56.
[60] Uichanco, & Gines. R. B.: 1936. A biometrical study of the adult components of Philippine locust swarms. *Phil. Agric.* **26**: 237—89.
[61] Uvarov, B. P.: 1936. The Oriental migratory locust (*Locusta migratoria manilensis* Meyen, 1835) *Bull. Ent. Res.* **27**: 91—104.
[62] Viado, G. B.: 1950. Reproductive capacity of the oriental migratory locust. *Philipp. agric. Los. Banos.* **33**: 221—38.

THE POPULATION DYNAMICS OF THE ORIENTAL MIGRATORY LOCUST (*LOCUSTA MIGRATORIA MANILENSIS* MEYEN) IN CHINA

MA SHIH-CHUN
Institute of Entomology, Academia Sinica

The present study was made in the course of 5 years (1952—56). Various sources of the older Chinese literature had been consulted in order to analyze the fluctuation of population of this pest. The usual method of sampling was employed to estimate the annual fluctuation of population all over the main outbreak areas throughout the whole country. The estimations comprised of several items, such as sex ratio, percentage of different phase forms, percentage of parasitism and others. The outbreak intensity, as measured by the number of years between two successive outbreaks varied from 4—15 years. However, in the last 50 years (1906—56), it was found that an interval of 9—11 years was comparatively more often. During the past 1000 years (957—1956) the number of occurrence of outbreaks varied in different localities: 236 times in the basin of Hwai-Ho, 206 times in the basin of lower part of Hwang-Ho, 156 times in the basin of Hai-Ho, 111 times in the basin of Yangtze River and 8 times in the coastal regions of South Sea. The period of outbreak may last only 1 year, which happened in 75% of all cases, however the longest period may last 2.5 years.

In analyzing the correlation between the outbreak and the occurrence of flood or of drought, it was found that the probability of outbreak to drought might reach as high as 0.645, with a mean value of 0.309, in which 45.1% of the cases, the twe phenomena occurred concurrently in the same year and about 33.2% of the cases of outbreak occurred 1 year after the drought. As in case of floods, the correlation probability might reach as high as 0.55 with an average of 0.255, in which 54% of the cases of outbreaks occurred 2 years after the flood and 26% of only 1 year later. Topographical effect was also found to be an important factor responsible for the formation of the outbreak center. To be more exact, it affected indirectly on the mortality of eggs when the fluctuations of the level of underground water appeared. The correlation between the periodicity of yearly relative sunspot numbers and the locust outbreak was not high ($r=0.042$). The phenomenon of 2 fluctuations in every 10 years or 5 fluctuations in every 20 years was quite evident in the annual population density and it corresponded roughly to the periodical variations of climate in certain localities.

Besides the human effect, there are two limiting factors which might effectively check the outbreak, namely the climatic and natural enemy factors. As regard to the local population density, the behaviour of the locust as well as some dependent factors induced by the crowding population, for example the reduction of maturity and of fecundity, sometimes might excercise a great influence. In the past 5 years (1952—56) the percentage of annual mortality including those of eggs, nymph and of adults, due to unfavorable climatic conditions ranged from 0.61% to 15.13%. The maximum rate had reached 42.11%. On the other hand, the mortality due to natural enemies ranged from 4.70% to 15.16%. The influence of food plant on population growth has also been touched by means of experiments with 7 kinds of wild plants and 5 kinds of cultivated crops. A new term, "population growth coefficient" has been introduced to indicate the sum effect of the 3 major biological characteristics, namely maturity, growth rate and fecundity. The higher population growth coefficients were found among those groups of locusts feeding on *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.), *Cynodon dactylon* (*L.*) Pers., and *Andropogon sorghum* Brot. var. *vulgaris* Hack. and they are 91.96, 95.02 and 121.31 respectively. All of them were far below the theoretic value (237.6) which was obtained under laboratory conditions.

It was found that there were no true diapause among the oriental migratory locusts and the reproductive rate and the growth rate were greatly affected by the temperature in the range of 25—40°C. The number of generations completed in one year varied not only from the south to north, but also in the same area at different year under ordinary climatic conditions. There may be 3—4 generations in lower latitude (N. 25°) while in higher latitude (N. 40°) only 1—2 generations a year. The time required for the population to build up to a stage of an outbreak was only one year in the southern part of Kwangtung but it took at least 1.5—2 years in the northern part of Hopei. The reproductive capacity varied rather evidently in different seasons but slightly both in different localities and in different phase forms. The highest fecundity was 12 egg pods per female with an average of 60 eggs per pod. It amounted up to 721 eggs in total. But in general, a female laid only 240—360 eggs and the variation of fecundity was, therefore, great.

The generalization of the effective temperature summation was used to estimate the number of generations to completed over all major infected areas in the eastern part of China. It was found that the temperature summation for egg stage was 210—260 day-degrees, for nymph stage 370—560 day-degrees and for a complete generation about 750—900 day-degrees. For convencience of using meteorological records in the prediction of the possibility of locust outbreak a method has been suggested to obtain a meteorological index by means of a simple formula.